

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Studium povrchu substrátu pro kontakt s tenkými povlaky

Study of Surface Substrate for Contact with Thin Coatings

Student :

Bc. Milan Straka

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Milan Straka**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Studium povrchu substrátu pro kontakt s tenkými povlaky**
Study of Surface Substrate for Contact with Thin Coatings

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte složení a vlastnosti tenkých organických povlaků.
2. Prostudujte vlastnosti povrchu ocelového substrátu používaného pro kontakt s organickými povlaky.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proveďte experimentální zkoušky a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:


MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.
KOLASINSKI, K. W.: *Surface Science. Foundations of Catalysis and Nanoscience*. John Wiley and Sons, LTD, England, 2002. 300 s. ISBN 0-471-49245-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě
21.5.2012

.....
Milan Škráda
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

21.5.2012
V Ostravě

Milana Straka
.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Milan Straka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Příčná 476

Hanušovice 788 33

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

STRAKA, M. *Studium povrchu substrátu pro kontakt s tenkými povlaky: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2012, 100 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Teoretická část diplomové práce se zabývá studiem struktury povrchu ocelového substrátu, především drsností, povrchovým napětím, předběžnými úpravami a výrobou materiálů hutní produkce, obzvlášť válcováním za tepla. V neposlední řadě také nátěrovými hmotami a jejich složením. V experimentální části je zjišťováno zaprášení, chemický rozbor a drsnost povrchu u použitých podkladů. Jako podklady byly použity otryskané ocelové plechy, válcované trubky za tepla a testovací kovové panely. Další část je zaměřena na srovnání dvou rozdílných nátěrových systémů, které jsou aplikovány pneumatickým stříkáním na zmíněné podklady. Prvním nanášeným povlakem byl transparentní nátěrový systém na bázi akrylátu obsahující inhibitory koroze a antikorozní pigmenty a druhým byla transparentní vodouředitelná nátěrová hmota na bázi alkydové pryskyřice. U nich se kontrolovala tloušťka mokré i suché vrstvy, odolnost proti oddělení od podkladu, korozní odolnost v umělých atmosférách a odolnost proti podkorodování. Všechny výsledky byly zaznamenány, porovnány a poté vyhodnoceny.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

STRAKA, M. Study of Surface Substrate for Contact with Thin Coatings: Diploma thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2012, 100 p. Thesis head: Jitka Podjuklová, Prof. Assoc. PhD MSc.

Theoretical part of the Master Thesis presents the studying of structure surface of steel substrate, in particular bluntness, surface tension, preliminary modifications, and production of materials metallurgical production, particularly hot-rolling, the coatings and their composition. In the experimental part is examined dusting, the chemical analysis and surface roughness in the case of the supporting documents. As the supporting documents have been used blasted steel sheets, hot-rolled tubes and the metal testing panels. The next part is focused on a comparison between two different paints systems, which are applied pneumatic spray on the supporting documents. The first coating was transparent coating system based on acrylic containing corrosion inhibitors and anti-corrosion pigments and the second was transparent by water-soluble the coating based on alkyd resin. For them to control the thickness wet and dry layer, the resistance against separation from underlay, the corrosion resistance in artificial atmosphere and the resistance against creep. All the results have been written down, compared and then have been evaluated.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	10
1 ÚVOD	12
2 STRUKTURA POVRCHU OCELOVÉHO SUBSTRÁTU	13
2.1 JEVY POZOROVATELNÉ PŘI INTERAKCI PLYNŮ S POVRCHY PEVNÝCH LÁTEK	13
2.2 NEROVNOSTI POVRCHU	14
2.3 DRSNOST POVRCHU	15
2.3.1 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a	15
2.3.2 Maximální výška profilu R_z	16
2.3.3 Největší výška výstupku profilu R_p a největší hloubka prohlubně profilu R_v	17
2.3.4 Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu R_q	17
2.3.5 Šikmost posuzovaného profilu R_{sk} a špičatost posuzovaného profilu R_{ku}	18
2.4 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ	18
2.5 SMÁČIVOST POVRCHU	20
3 PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY POVRCHU	21
3.1 MECHANICKÉ ÚPRAVY POVRCHU	21
3.1.1 Otryskávání	21
3.1.2 Broušení	25
4 VÝROBA MATERIÁLU HUTNÍ PRODUKCE	27
4.1 VÁLCOVÁNÍ BEZEŠVÝCH TRUBEK	27
5 OCHRANA POVRCHU NÁTĚROVÝMI SYSTÉMY	29
5.1 ORGANICKÉ POVLAKY	29
5.1.1 Rozdělení nátěrových hmot a nátěrů	29
5.1.2 Základní složky nátěrových hmot	30
5.2 NANOPOVLAKY	33
5.2.1 Použití nanopovlaků	34
5.2.2 Aplikace	34
5.3 NANÁŠENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT	35
5.3.1 Pneumatické stříkání nátěrových hmot	35
6 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ METODIKY	36
7 POPIS A HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ	37
7.1 EXPERIMENTÁLNÍ VZORKY	37

7.1.1 Fotodokumentace a chemický rozbor povrchu vzorků.....	40
7.2 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ	43
7.3 OZNAČENÍ VZORKŮ	43
7.4 ZAPRÁŠENÍ POVRCHU VZORKŮ DLE ČSN ISO 8502-3	44
7.4.1 Výsledky zaprášení.....	44
7.5 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU VZORKŮ DLE ČSN EN ISO 4287	46
7.5.1 Výsledky měření drsnosti.....	47
7.6 APLIKACE NÁTĚRU	52
7.6.1 Technologický postup nanášení nátěrové hmoty firmy Denas Color, a.s.	52
7.6.2 Technologický postup nanášení nátěrové hmoty Ruskou federací.....	52
7.7 MĚŘENÍ TLOUŠTKY SUCHÉ VRSTVY NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU DLE ČSN EN ISO 2808	53
7.7.1 Výsledky měření tloušťky suché vrstvy nátěrového systému	53
7.8 MŘÍŽKOVÁ ZKOUŠKA DLE ČSN EN ISO 2409.....	54
7.8.1 Výsledky mřížkové zkoušky.....	55
7.9 ZKOUŠKA KŘÍŽOVÝM ŘEZEM DLE ČSN EN ISO 16276-2	56
7.9.1 Výsledky zkoušky křížovým řezem	57
7.10 KOROZNÍ ZKOUŠKA V UMĚLÉ ATMOSFÉŘE – ZKOUŠKY SOLNOU MLHOU DLE ČSN EN ISO 9227.....	58
7.10.1 Provozní podmínky korozní komory LIEBISCH S400 M-TR	58
7.10.2 Orientační hodnoty mezi realitou a simulací v korozní komoře	59
7.10.3 Výsledky korozní zkoušky v umělých atmosférách	60
7.11 ZRYCHLENÁ PONOROVÁ ZKOUŠKA ODOLNOSTI NÁTĚRŮ PROTI PODKORODOVÁNÍ.....	68
7.11.1 Složení roztoku	68
7.11.2 Výsledky zrychlené ponorové zkoušky.....	69
8 HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	77
8.1 HODNOCENÍ CHEMICKÉHO ROZBORU POVRCHU VZORKŮ	77
8.2 HODNOCENÍ ZAPRÁŠENÍ POVRCHU VZORKŮ	77
8.3 HODNOCENÍ DRSNOSTI POVRCHU VZORKŮ.....	78
8.4 HODNOCENÍ TLOUŠTKY SUCHÉ VRSTVY VZORKŮ.....	82
8.5 HODNOCENÍ MŘÍŽKOVÉ ZKOUŠKY	82
8.6 HODNOCENÍ ZKOUŠKY KŘÍŽOVÝM ŘEZEM	83
8.7 HODNOCENÍ KOROZNÍ ZKOUŠKY V UMĚLÝCH ATMOSFÉRÁCH.....	84
8.7.1 Hodnocení korozní zkoušky v umělých atmosférách po 48 hodinách (bez řezu)	85

8.7.2	<i>Hodnocení korozní zkoušky v umělých atmosférách po 48 hodinách (s řezem)</i>	85
8.8	HODNOCENÍ ZRYCHLENÉ PONOROVÉ ZKOUŠKY ODOLNOSTI NÁTĚRŮ PROTI PODKORODOVÁNÍ	85
8.8.1	<i>Hodnocení zrychlené ponorové zkoušky po 3 cyklech (bez řezu).....</i>	86
8.8.2	<i>Hodnocení zrychlené ponorové zkoušky po 3 cyklech (s řezem).....</i>	86
9	ZÁVĚR.....	87
10	POUŽITÁ LITERATURA	89
11	SEZNAM PŘÍLOH	99

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>ZNAK</i>	<i>VELIČINA</i>	<i>JEDNOTKA</i>
ČSN	Česká státní norma	[-]
EN	Evropská norma	[-]
ISO	Mezinárodní norma	[-]
T	teplota v laboratoři	[°C]
UV	ultrafialové záření	[nm]
VOC	volně těkavé organické látky	[-]
A ₅	tažnost	[%]
l _r	základní délka pro drsnost	[mm]
R _a	průměrná aritmetická úchylka profilu	[μm]
R _e	mez kluzu	[MPa]
R _{ku}	špičatost posuzovaného profilu	[μm]
R _{Lo}	rozvinutá délka měřeného profilu	[mm]
R _m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R _{max}	maximální hloubka drsnosti	[μm]
R _p	největší výška výstupku profilu	[μm]
R _{pm}	střední hodnotu z více jednotlivých měřicích drah	[μm]
R _q	průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
R _{sk}	šikmost posuzovaného profilu	[μm]
R _v	největší hloubka prohlubně profilu	[μm]
R _z	maximální výška profilu	[μm]
R _{zi}	jednotlivé hloubky drsnosti	[μm]
Z(x)	výška posuzovaného profilu v libovolné poloze	[μm]
λ _c	filtr profilu	[mm]
σ, α, γ	kontaktní úhel	[N/m]
θ	velikost krajového neboli krajního úhlu	[°]

<i>ZNAK</i>	<i>VELIČINA</i>	<i>JEDNOTKA</i>
Al	hliník	[-]
C	uhlík	[-]
Ca	vápník	[-]
Cu	měď	[-]
Cr	chrom	[-]
Fe	železo	[-]
H ₂ O ₂	peroxid vodíku	[-]
K	draslík	[-]
Mg	hořčík	[-]
Mn	mangan	[-]
Mo	molybden	[-]
NaCl	chlorid sodný	[-]
N	dusík	[-]
Ni	nikl	[-]
O	kyslík	[-]
P	fosfor	[-]
S	síra	[-]
Si	křemík	[-]
SiC	karbid křemíku	[-]
Sn	cín	[-]
Ti	titan	[-]
Zn	zinek	[-]
Zn ₃ (PO ₄) ₂	fosforečnan zinečnatý	[-]

1 ÚVOD

Dokonce už před 8000 lety se začaly zpracovávat první kovy. Samotné zpracování železa započalo o něco později, asi před 3500 lety. Od doby, kdy bylo zpracování kovů ještě v počátcích, uběhlo už hodně času. V dnešní době se vyrobí asi 1,3 miliardy tun ročně jen oceli. Člověk si nedovede představit život bez kovů, kolikrát si ani neuvědomí, o co všechno by mohl bez nich přijít. Díky velké rozmanitosti využití kovů je problém jejich degradace aktuálnější každým rokem, a proto je nasnadě zabývat se jejich ochranou před napadením a následnou degradací. Změna životního prostředí a klimatu nás nutí zdokonalovat a hledat nové a nové možnosti, jak této ochrany dosáhnout. Přesný odhad ztrát v důsledku korozního napadení lze těžko odhadnout.

Jak nejlépe a zároveň nenáročně ochránit kovy před korozním napadením? Jedním z nejrozšířenějších a ekonomicky nejvýhodnějších způsobů ochrany je ochrana nátěrovými systémy. Proto není divu, že tento druh ochrany se používá až z 80 – 90%. Při použití se některé nátěrové hmoty nebo jejich složky pro svoji ekologickou závadnost musí omezit nebo dokonce úplně přestat používat a z toho vyplývá snaha nahradit je jinými, vhodnějšími, ekologicky nezávadnými. Veliký význam přikládaný vývoji těchto složek je tedy jasnou odezvou.

Předkládaná práce se zabývá právě vyvíjenými transparentními nátěrovými hmotami s obsahy nových antikorozních pigmentů, které mají nahradit dříve se používající antikorozní pigmenty na bázi olova a chromu. Tyto transparentní povlaky byly pro svoje pozdější použití v praxi podrobeny mnoha zkouškám v laboratořích, které pomohou určit jejich vlastnosti, porovnat je mezi sebou a vyhodnotit.

2 STRUKTURA POVRCHU OCELOVÉHO SUBSTRÁTU

Povrch se dá definovat jako rozhraní, které tvoří hranici u kovových a nekovových materiálů s vnějším okolím. Mezi jednotlivými krystaly působí síly přitažlivé a odpuzivé, které jsou v rovnováze. Při porušení krystalu se naruší rovnováha sil. Atomy se ji snaží získat zpět, a proto na sebe začnou vázat atomy z okolí. [1]

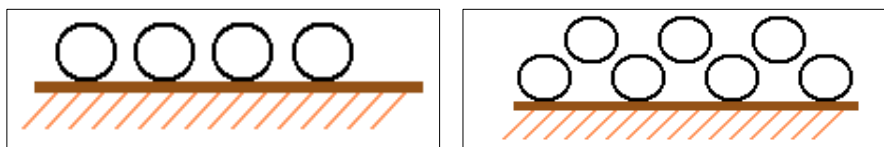
Oblasti povrchu směrem do hloubky se rozdělují dle tabulky 1.

Tab. 1 Oblasti povrchu [9]

Oblast	Rozměr	Funkční ovlivnění
Horní nanovrstva	0,1 nm	Adsorpce, chemické reaktivita
Tenký film oxidace	0,1 – 100 nm	Odrazivost, koroze, tepelná vodivost
Vnější povrchová vrstva	0,1 – 10 μm	Deformace struktury
Celková vrstva	> 100 μm	Adheze, nátěry

2.1 Jevy pozorovatelné při interakci plynů s povrchy pevných látek

Pro objektivní posouzení vlastností povrchu se musí znát chování „ideálního“ povrchu. Na takový povrch nepůsobí okolní prostředí a je fyzikálně čistý. [7]



Obr. 1 Druhy adsorpce [1]

Na obou obrázcích je zobrazen proces adsorpce, při kterém se na povrchu pevné fáze hromadí plynné a kapalné fáze.

Na levém obrázku jsou molekuly k povrchu vázány chemicky a tento nevratný děj se označuje jako chemisorpce. Je charakterická velmi vysokou rychlostí, ale pouze ze začátku. Po téměř dokonalém pokrytí se rychlost chemisorpce snižuje k 0. U molekul, které dopadají na povrch, může dojít k narušení nebo i k rozpadu. To vede ke vzniku nových vazeb a zániku těch starých. [1] [13]

Pravý obrázek znázorňuje fyzikální adsorpci, molekuly jsou k povrchu vázány silami fyzikálními tzv. van der Walsovými. Na rozdíl od chemisorpce zde nevznikají a ani nezanikají žádné vazby. Děj probíhá po celém povrchu a na první vrstvě se může vytvořit další. Celý proces je velmi rychlý. [7]



Obr. 2 Absorpce a inkorporace [1]

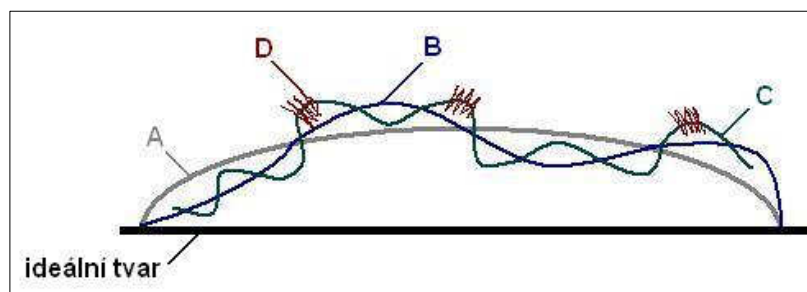
Z obrázku na levé straně je patrné, že celým objemem jedné fáze prostupují molekuly jiné fáze, probíhající děj se nazývá absorpce. Jednotlivé molekuly mohou proniknout dokonce i mezi atomy krystalové mřížky. [7]

Inkorporace je vnikání molekul jedné látky pouze do povrchové vrstvy a je znázorněna na obrázku vpravo. [7]

2.2 Nerovnosti povrchu

I povrch monokrystalu je geometricky nedokonalý, tudíž na povrchu substrátu jsou odchylky ještě větší. Nerovnosti vznikají působením vnějších sil (výroba, tepelné zpracování...). Druhy nerovností jsou zobrazeny na obrázku 3. [1] [13]

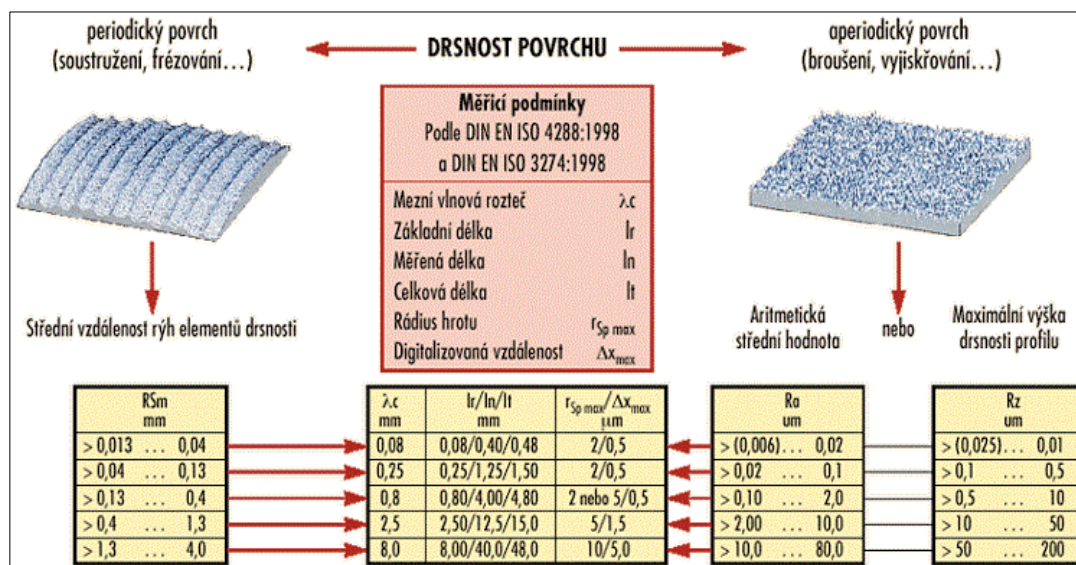
- A makronerovnosti – jedná se o trhliny, nepravidelné rýhy, různorodosti
- B vlnitost povrchu – periodicky se opakující nerovnost (chvění stroje nebo nástroje)
- C mikronerovnosti – pravidelně se opakující nerovnost, kterou ovlivňuje technologické pochody (drsnost povrchu)
- D ultramikronerovnosti – povrch se snaží dosáhnout nejstabilnějšího stavu [1]



Obr. 3 Schéma nerovností [1]

2.3 Drsnost povrchu

Hraje důležitou roli při stanovení chování povrchu s okolím. Definuje se jako měřítko struktury povrchu. Drsnost se zjistí ze svislých odchylek skutečného povrchu od povrchu ideálního. [33] Je značně ovlivněna výrobou. Vady povrchu, ať už náhodné nepravidelné nerovnosti nebo poškození materiálu, se do drsnosti nezahrnují. Drsnost se podle převahy směru nerovností posuzuje v příčném nebo podélném směru. [11]



Obr. 4 Drsnost povrchu [74]

2.3.1 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a

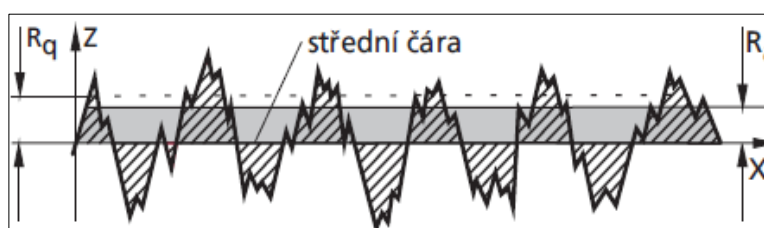
Aritmetický průměr absolutních hodnot $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r . Vypovídací schopnost parametru je nízká, R_a nereaguje citlivě na extrémní výšky hrotů profilu a hloubky rýh profilu. [25]

$$Pa, Ra, Wa = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (1)$$

kde $Z(x)$ = profilové hodnoty profilu drsnosti.

$l = (l_p, l_r, l_w)$

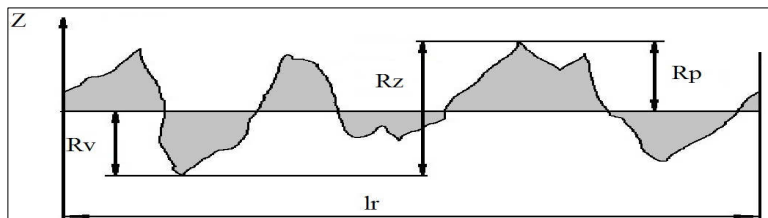
Pro R_a bývá také označení AA a CLA [23]



Obr. 5 Zobrazení průměrné aritmetické odchylky [23]

2.3.2 Maximální výška profilu R_z

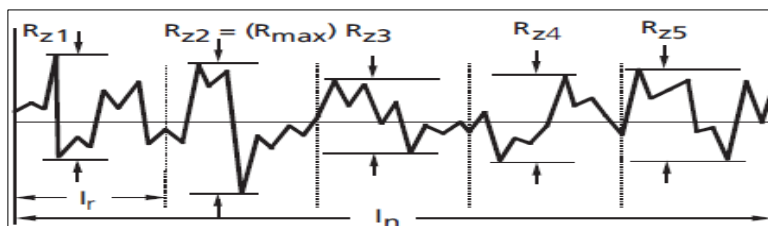
U R - profilu je to součet výšky nejvyššího výstupku R_p a hloubky nejnižší rýhy R_v v rozsahu základní délky l_r . [25]



Obr. 6 Zobrazení maximální výšky profilu [25]

Hloubka drsnosti R_z je aritmetická střední hodnota z jednotlivých hloubek drsnosti R_{zi} za sebou následujících jednotlivých měřicích drah.

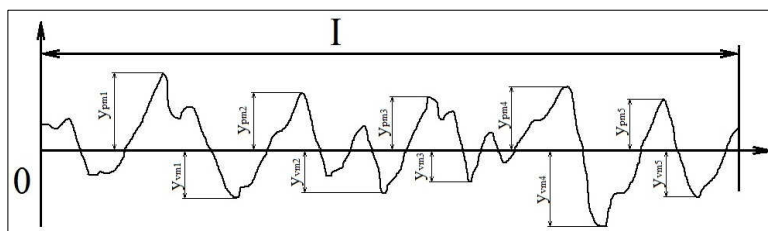
Maximální hloubka drsnosti R_{\max} je největší jednotlivá hloubka drsnosti uvnitř celkové měřicí dráhy. [23]



Obr. 7 Zobrazení maximální hloubky drsnosti [23]

Stanovení R_z :

a) pomocí střední čáry profilu „m“:



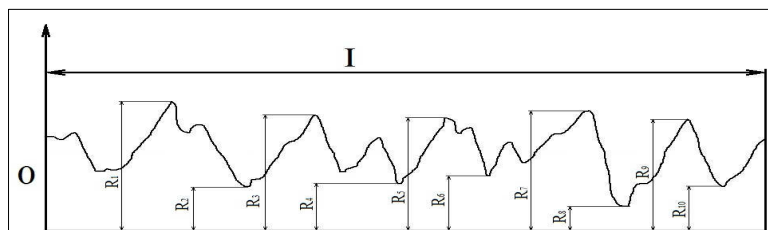
Obr. 8 Stanovení R_z dle střední čáry profilu [24]

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^n |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^n |y_{vmi}|}{5} \quad (2)$$

kde y_{pmi} ... výška i - tého nejvyššího výstupku profilu měřená od střední čáry profilu „m“

y_{vmi} ... hloubka i - té nejnižší prohlubně profilu měřená od střední čáry profilu „m“

b) pomocí základní čáry zvolené kdekoliv pod čarou profilu: [24]



Obr. 9 Stanovení R_z dle základní čáry [24]

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5} \quad (3)$$

$R_1, R_3, R_5, R_7, R_9 \dots$ vzdálenost pěti nejvyšších míst profilu od zvolené základní čáry

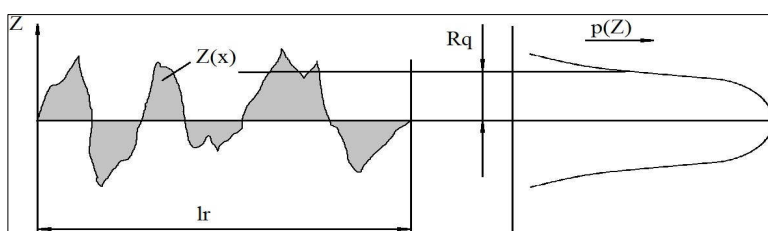
$R_2, R_4, R_6, R_8, R_{10} \dots$ vzdálenost pěti nejnižších míst profilu od zvolené základní čáry [24]

2.3.3 Největší výška výstupku profilu R_p a největší hloubka prohlubně profilu R_v

R_p je výška největší špičky profilu drsnosti uvnitř jednotlivé měřicí dráhy (viz Obr. 6). Dle starší definice bude pro střední hodnotu z více jednotlivých měřicích drah použito také označení R_{pm} . R_v je hloubka největší prohlubně R - profilu uvnitř jednotlivé měřicí dráhy (viz Obr. 6). Pro R_v byla také použita zkratka R_m . Součet $R_p + R_v$ je jednotlivá hloubka drsnosti R_{zi} . [23]

2.3.4 Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu R_q

Střední kvadratická hodnota odchylek filtrovaného profilu drsnosti uvnitř základní délky l_r . Parametr R_q má význam při statistickém pozorování profilu povrchu, neboť R_q zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic. [25] Pro R_q bývá také označení RMS. [23]

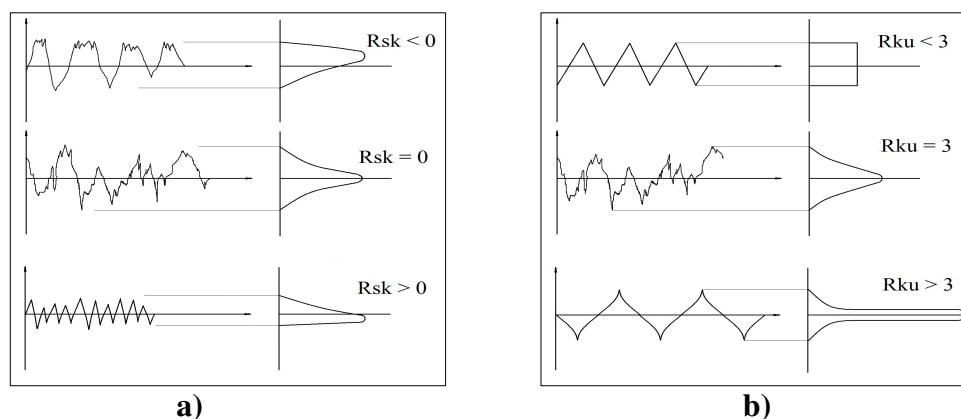


Obr. 10 Zobrazení průměrné kvadratické úchylky [25]

2.3.5 Šikmost posuzovaného profilu R_{sk} a špičatost posuzovaného profilu R_{ku}

R_{sk} je měřítko pro asymetrii křivky hustoty rozdělení amplitud filtrovaného profilu. Negativní odchylka R_{sk} (neboli vyosení, nesymetrie, sklon) odpovídá dobrým vlastnostem nosnosti profilu (viz Obr. 11 a). [25]

Hodnota pro míru špičatosti křivky (neboli příkrost, strmost) hustoty rozdělení amplitud filtrovaného profilu se značí R_{ku} . Při normálním rozdělení souřadnic profilu $R_{ku} = 3$, ostřejší výstupky a rýhy $R_{ku} > 3$ a naopak (viz Obr. 11 b). [25]

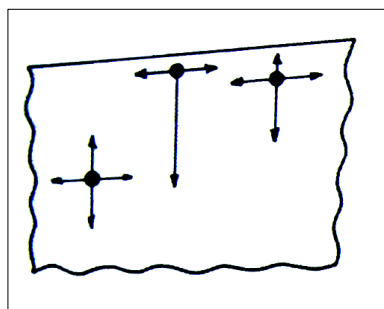


Obr. 11 Šikmost a špičatost posuzovaného profilu a) šikmost b) špičatost [23]

2.4 Povrchové napětí

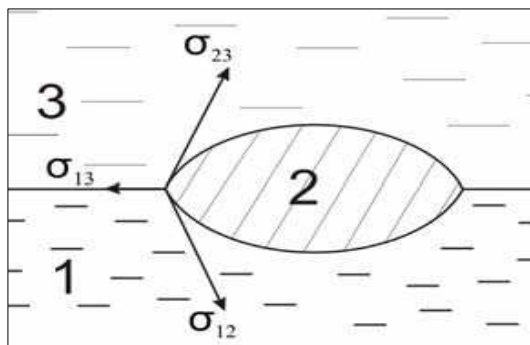
Povrchové napětí σ (také se značí α nebo γ) se definuje jako síla. Tato síla leží v místě kolmém k délce myšleného řezu povrchem, kde se protíná rovina tečná k povrchu kapaliny (pevné látky). Jednotky povrchového napětí jsou N/m. [3]

Molekuly kapaliny na sebe působí přitažlivými silami a právě z jejich vlivu vychází povrchové napětí. Přitažlivé síly působí v ně kapaliny rovnoměrně všemi směry, a tím se vyrovnávají. Síly působící na povrchu kapaliny se nemohou vyrovnat vzhledem k účinku plynné fáze. Proto zde působí síla kolmá k povrchu, která směřuje dovnitř kapaliny (viz Obr. 12). [12]



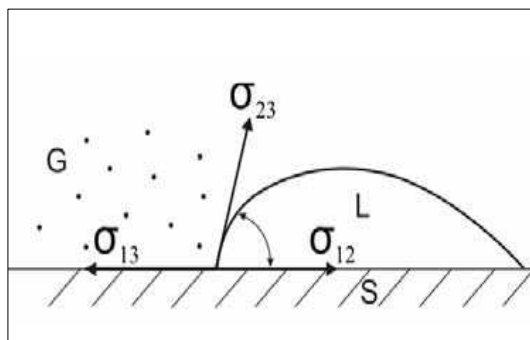
Obr. 12 Síly vzniklé na povrchu [3]

Molekuly mají snahu vytvořit co nejmenší povrch, tj. kouli. S vyšší teplotou povrchové napětí mírně klesá. Velikost povrchového napětí kapaliny se dá ovlivnit látkami, které snižují povrchové napětí kapaliny (mezipovrchově aktivní látky), které ho zvyšují anebo nepatrně mění (mezipovrchově inaktivní). [12]



Obr. 13 Rovnovážný stav mezipovrchových napětí třech kapalných fází [12]

Tři nesmáčitelné kapalně fáze (viz Obr. 13) . Druhá fáze vytvoří čočku s co nejmenší povrchovou energií v místech dotyku s první a třetí fází. Nejběžnější je případ, kdy jsou v kontaktu tři fáze plynná – kapalná – pevná. [12]



Obr. 14 Rovnovážný stav mezipovrchových napětí třech různých fází [12]

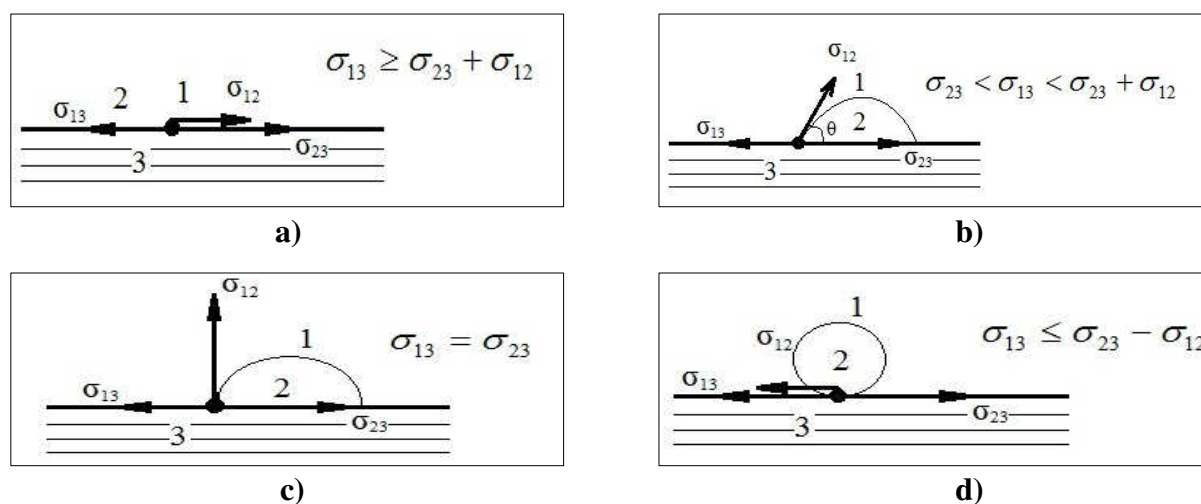
Mluví-li se o povrchovém napětí daného materiálu, jde o plošnou hustotu energie rozhraní právě zmíněného materiálu s atmosférou (cca 80 % dusíku a 20 % kyslíku) při konstantní teplotě 20 °C a tlaku 0,1 MPa. [3]

2.5 Smáčivost povrchu

Smáčivost závisí na jedné konkrétní vlastnosti povrchu, na již zmíněném povrchovém napětí. Povrchové napětí podkladu přímo ovlivňuje, jak dobře kapalina smáčí povrch. Smáčivost lze snadno prokázat změřením kontaktního úhlu. [26]

Kontaktní neboli krajový úhel se značí θ a je to úhel, který svírá tečna v kontaktním místě s vodorovnou linií pevného povrchu. Velikost krajového úhlu závisí na rozdílu mezipovrchových napětí na rozhraních mezi tuhou a plynnou fází a tuhou a kapalnou fází. Tomuto rozdílu se říká adhesní konstanta.

Ideální smáčivost (viz Obr. 15 a) se dostaví při úhlu rovnu 0° (např. při styku ethanolu na skle). [3]



Obr. 15 Smáčivost povrchu a) ideální smáčivost povrchu b) dobrá smáčivost povrchu c) špatná smáčivost povrchu d) nesmáčivost [3]

Dobrá smáčivost (viz Obr. 15 b) nastane, jestliže je adhesní konstanta kladná a tudíž krajový úhel ostrý $0^\circ - 90^\circ$. [3]

Avšak je-li adhesní konstanta záporná, bude krajový úhel tupý 90° až 180° stupňů (např. kapka rtuti na kamenné desce) a kapalná tuhá fáze smáčí špatně (viz Obr. 15 c). [3]

Teoretickou hranicí pro nesmáčivost (viz Obr. 15 d) je kontaktní úhel 180° . [10]

Nečistoty a přísady, které se absorbují na povrchu tuhé fáze, značně ovlivňují povrchové napětí. Snižují ho tím, že vytvářejí odlišné částice od těch sousedních, a to vede ke ztrátám rozdílu potenciální energie atomů jak uvnitř, tak i na povrchu substrátu. Rovněž je třeba brát ohled na typy mřížkových poruch. [12]

3 PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY POVRCHU

Látky, které mohou povrch znečistit jsou k němu vázány mechanicky (mastnoty, prach zbytky mazadel aj.) nebo chemicky (oxidy, rez, okuje a pod). Jejich výskyt na povrchu před aplikací povrchových úprav je nežádoucí, a proto se musí dosáhnout povrchu kovově čistotného. Takový povrch se dá získat pomocí předběžných úprav. [2]

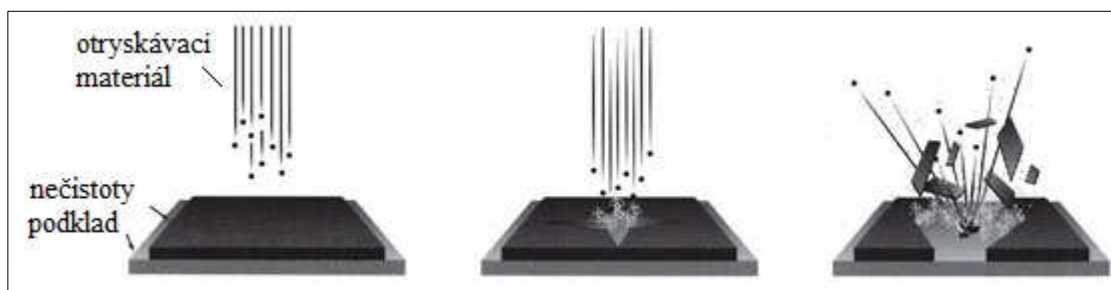
3.1 Mechanické úpravy povrchu

Nečistoty vázané k povrchu chemicky se odstraní buď mořením a nebo mechanickými úpravami. Mezi ně patří otryskávání, broušení, omílání, kartáčování a leštění. Povrch se zbaví nejen nečistot, ale také se na něm vytvoří struktura vhodná k zakotvení povlaku. [2]

Účelem mechanických úprav je zbavit povrch nečistot, upravit mikrogeometrii a mikrostrukturu povrchu k zakotvení povlaku, zdokonalit mechanické vlastností a také vyhovět požadavkům na design povrchu. [2]

3.1.1 Otryskávání

Otryskávání se definuje jako vrhání abrazivních částic (otryskávacího materiálu) vysokou kinetickou energií na povrch. Velký význam na charakter povrchu má tvar otryskávacího materiálu, jeho tvrdost, zrnitost, hmotnost a druh. [1]



Obr. 16 Otryskávání [92]

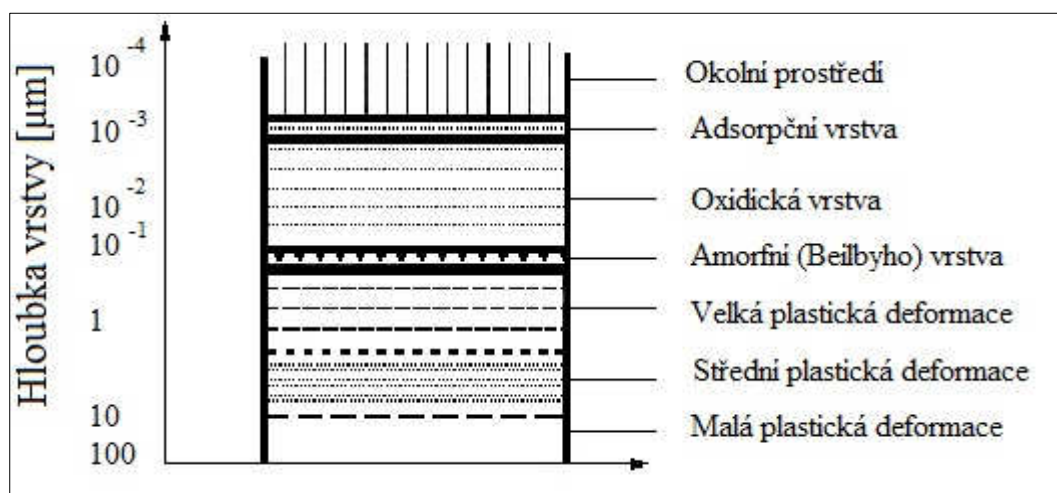
Při dopadu se zhruba 90% kinetické energie změní v teplo, které vejde do povrchu. V povrchových vrstvách dojde k plastické deformaci, odkrývání okují a k odběru třísek.[1][7]

➤ **Plastická deformace způsobuje:**

- zvýšení napětí v povrchových vrstvách
- plastický tok, který vede ke zpevnění materiálu
- změny povrchu, které souvisí s napěťovými kombinacemi [2]

Těchto změn se prakticky využívá u ozubených kol, ložisek, lopatek. [1]

Na kovově čistém mechanicky opracovaném povrchu při styku s vnějším okolím vznikne několik vrstev (viz Obr. 17).



Obr. 17 Vzniklé vrstvy na kovovém povrchu [20]

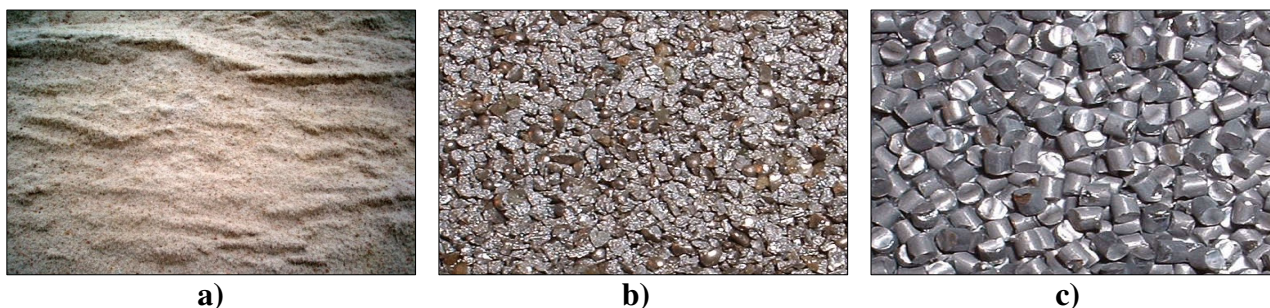
Mezi výhody otryskávání patří zvýšení odolnosti proti korozi, vyšší tvrdost povrchu, zlepšení únavových vlastností, menší množství povrchových defektů, rovněž má vliv na vznik a šíření prvních trhlin v povrchové vrstvě. U ocelí je velmi příznivé snížení zbytkového austenitu v povrchové vrstvě (po tepelném zpracování). Při otryskávání může dojít ke zhoršení povrchové drsnosti. [7]

➤ **Tvary otryskávacích těles:**

- kulatý - čistí a zpevňuje povrch, ale z části do něj nečistoty zatlačuje
- tvrdý ostrý - částečně odstraňuje i kov
- měkká zrna - povrch jen leští [1]

3.1.1.1 Otryskávací materiály

Volba otryskávacího materiálu je ovlivněna materiálem, druhem, mírou znečištění upravovaného povrchu a také podle požadovaného vzhledu. [2]

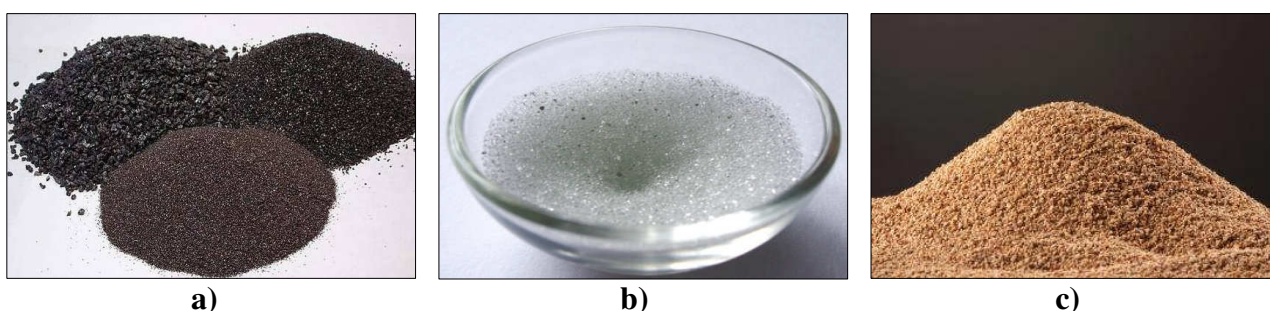


Obr. 18 Druhy otryskávacích materiálů a) sklářský písek [83] b) litinová drť [85]
c) sekaný drát [86]

Mezi používané materiály patří křemičitý písek nebo méně hodnotný sklářský písek (viz Obr. 18 a). Jeho zrna jsou ostrohranná. Značnou nevýhodou je prašnost a nadměrné tříštění, které obsluze může způsobit zdravotní potíže. [2]

Litinová drť (viz Obr. 18 b) i litinové broky mají podobné vlastnosti. Oba otryskávací materiály se vyrábějí granulací litiny. Oproti křemičitému písku je zrno rovnoměrnější s větší schopností úběru, je také hospodárnější a hygieničtější, ale nedoporučuje se k otryskávání barevných kovů a nerezavějících ocelí. [2]

Sekaný drát (viz Obr. 18 c) se vyznačuje vysokou pevností (160MPa), neštěpí se, nedrtí se a neopotřebovává tolik metací kolo. [2]



Obr. 19 Druhy otryskávacích materiálů a) umělý korund [87] b) balotina [89]
c) drť z pecek [88]

Další z řady materiálů, které se používají pro otryskávání jsou různá brusiva např. SiC, umělý korund (viz Obr. 19 a). Zrna jsou ostrá, stejnoměrnější, trvanlivější. Provoz je méně prašný než u křemičitého písku. [1] Výhodou je otryskávání brusivem ve vodní suspenzi. [2]

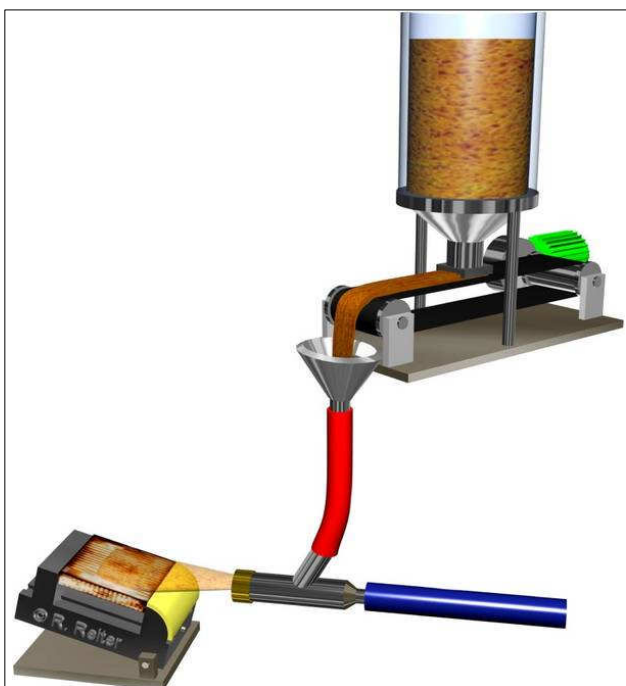
Pro vyhlazování a leštění se může použít balotina (viz Obr. 19 b). Po otryskání je povrch důlkovaný a odolnější proti korozi. [2]

Méně častým abrazivem jsou speciální materiály např. drť z pecek (viz Obr 19 c) nebo z plastické hmoty. Uplatnění mají při otryskávání kovů jako jsou Cu, Sn, Al, Zn. Účelem je dosažení matného nebo pololesklého vzhledu. [1]

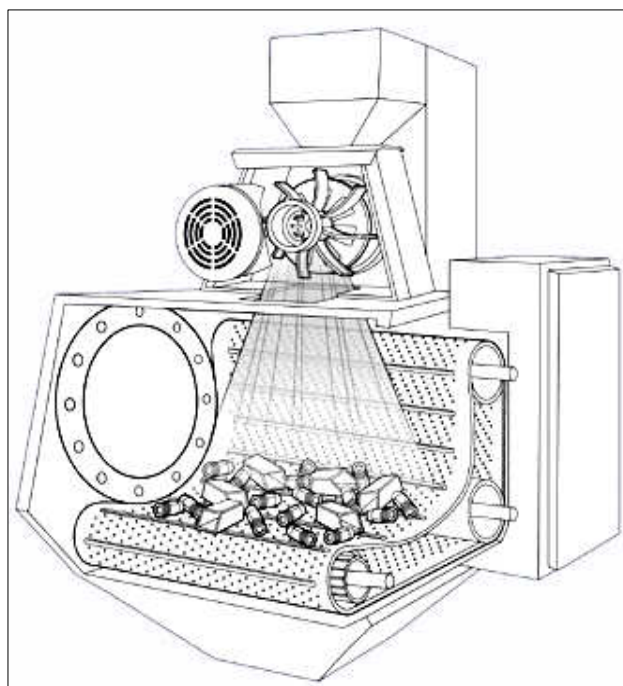
3.1.1.2 Zařízení pro otryskávání

Existují dva ustálené způsoby urychlování tryskacího prostředku:

- energií stlačeného vzduchu – pneumatické (injektorové, tlakové)
- mechanickou energií rotujícího metacího kola (je výkonnější, hospodárnější, ale nevýhodou je nemožné řízení tryskacího paprsku) [1]



a)

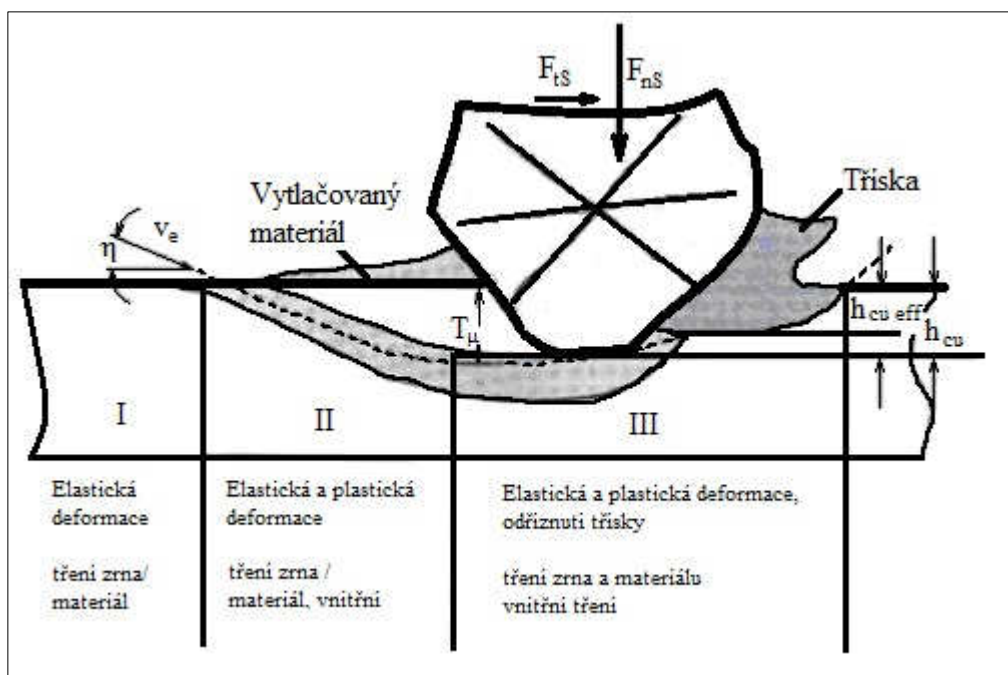


b)

Obr. 20 Zařízení pro otryskávání a) injektorový tryskač [93] b) otryskávací zařízení s mechanismem metacího kola [7]

3.1.2 Broušení

Broušení je mechanická úprava povrchu s nedefinovatelnou geometrií bříty. Nejčastěji se používá jako úprava před vytvořením povlaku nebo konečná úprava ploch rovinných, válcových, tvarových vnějších i vnitřních. [27] [2]



Obr. 21 Technologie broušení [19]

➤ **Výhody broušení:**

- vysoká přesnost a jakost povrchu
- broušení materiálů s vysokou pevností a tvrdostí (kalené oceli)
- velké množství zrn (břitů) v záběru
- třísky malých průřezů ($0,0001-0,002 \text{ mm}^2$)
- vysoká řezná rychlost (100 m/s) [27]

➤ **Volba brusných kotoučů**

Na volbu brusných kotoučů má vliv velké množství faktorů. Tvar a velikost broušené plochy. Vhodný výběr brusiva, jeho tvrdost dle materiálu obrobku, velikost zrna podle výkonu broušení a požadované kvality povrchu. [27]

Brusné kotouče mohou být vyrobeny ze dřeva a obloženy plstí nebo kůží. Kotouče vyrobené z plstě mají uplatnění jako podložkové u brusných pásů nebo přímo jako brusné.

Materiál látkových kotoučů je kaliko nebo molina. Používají se k vybrušování nerovností na tvarově složitějších plochách. [2]



Obr. 22 Druhy brusných tělísek [39]

Před použitím se kotouče musí upravit. Vyřezávají se středící otvory s menším průměrem než průměr hřídele. [2] Poté se kotouče orovnají a vytvarují. Tento proces slouží k získání požadovaného tvaru, odstranění nerovností a obnovení řezivosti. [27] Dále se nalepí brusivo, to se provádí vyvalováním nebo nanášením brusiva ve směsi s lepidlem (pojivo). [2]

4 VÝROBA MATERIÁLU HUTNÍ PRODUKCE

V experimentálních pracích bude aplikován transparentní nátěr i na povrch materiálu hutní produkce. Použité vzorky budou bezešvé trubky válcované za tepla.



***Obr. 23** Válcování [59]*

Válcování je kontinuální proces plastického tváření kovu. Materiál je veden mezi protilehlé otáčející se válce, kde se posunuje a zároveň deformuje (zmenšuje průřez). Rozeznáváme válce hladké, rýhované a válce kalibrovací. Nejdříve se vyrobí polotovary (předvalky), teprve z nich dalším válcováním vznikne konečný výrobek (vývalek). Vývalky mohou mít různé tvarové profily, kolejnice, plechy, bezešvé trubky aj. [5] [4]

K válcování se jako tvářecí stroj používá válcovací stolice. Několik válcovacích stolic seřazených za sebou nebo vedle sebe tvoří válcovací trať, která může mít délku i několik stovek metrů. [34]

4.1 Válcování bezešvých trubek

Bezešvé trubky se vyrábějí z velké části válcováním. Začíná se výrobou dutého polotovaru převážně kosým válcováním při němž se redukuje průměr, dochází k prodloužení a vzniká dutina. Vznik dutiny souvisí hlavně se stavem napjatosti v příčném průřezu provalku. Trn je pouze doplňkový. Poté se duté předvalky upravují na hotovou trubku pomocí profilové válcovací stolice. Poslední částí procesu je hlazení, kalibrace a následuje chlazení. Vychází se z děrovaných polotovarů. [17]

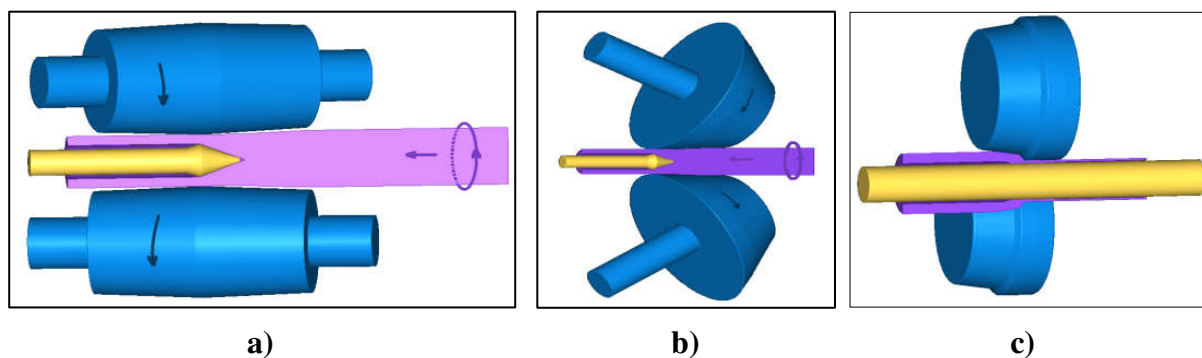


Obr. 24 Válcování bezešvých trubek [116] [108]

Mannesmanův způsob výroby (viz Obr. 25 a) spočívá ve válcování vývalku mezi dvěma válci s mimoběžnými osami a se stejným smyslem otáčení, čímž se uděluje šroubovitý posuv válcovanému materiálu. Na vývalek působí jednosměrné stlačení, ve středu vývalku vznikne velké tahové napětí, které poruší materiál a vytvoří ve vývalku dutinu. Trn slouží ke kalibrování trubky, v celé své délce má stejnou tloušťku stěny. Úhel natočení válců bývá kolem 3° až 7° . K získání potřebné deformace se během procesu mění vzdálenost mezi válci. [8]

Stiefelův způsob (viz Obr. 25 b) má shodný princip jako Mannesmanův. Liší se pouze tvarem válců, tady je nahradily kotouče hřibovitého tvaru. [17]

Tríválcová stolice známá také jako Asselův způsob (viz Obr. 25 c). Mimoběžné válce stejného smyslu otáčení umístěné pod úhlem 10° až 15° . [17] První kužel je záběrový, zavádí předvalek mezi válce. Druhý kužel slouží jako válcovací, vytváří velkou část deformace. Kužel třetí slouží k vyhlazení povrchu a kalibraci vnějšího průměru. [8]



Obr. 25 Způsoby technologie výroby [8]

5 OCHRANA POVRCHU NÁTĚROVÝMI SYSTÉMY

Nátěrové systémy jsou hmoty, které po nanesení na povrch vytvoří ucelený film a plní ochranné, estetické a speciální vlastnosti. Podle potřeby se vytváří jedna nebo více vrstev. Je to nejčastější druh protikorozní ochrany (80 až 90%). [2] [9]

➤ *Nátěrové systémy dělíme na:*

Anorganické povlaky

- elektrochemické pokovování
- chemické pokovování
- tepelné povrchové úpravy

Organické povlaky

- nátěrové hmoty a nátěry
- povlaky z plastických hmot
- dočasná ochrana vosky, tuky, oleji

5.1 Organické povlaky

Zajišťují korozní ochranu na základě nátěrových hmot a plastů. Zabraňují, aby se k povrchu dostala voda nebo i agresivnější látky. Nátěry nejsou nikdy dokonale bezpórovité, a proto může docházet k částečné korozi. Přidáním pigmentů a inhibitorů se koroze zpomalí nebo úplně zastaví. [2] Mezi hlavní výhody organických povlaků patří snadné provedení, dobrá ochranná účinnost, veliký rozsah použití pro materiály různých vlastností a složení.

5.1.1 Rozdělení nátěrových hmot a nátěrů

- pigmentové (email, tmel, barva) [2]
- transparentní (lak, fermež)

Jsou to nátěrové hmoty připravené z rostlinných olejů. Pro lepší vysychání se upravují ohřevem nebo se do nich přimíchávají sušidla. Nátěry mohou zaschnout buď na vzduchu

vlivem chemické reakce, což je ještě urychleno sušidly (sikativy), nebo mohou být přisoušena (80°C). Normální podmínky umožňují zaschnutí, které ale trvá poměrně dlouho, a jestliže je teplota pod 15°C, zasychání se ještě více prodlužuje.

Olejové nátěrové hmoty obsahují velké množství filmotvorných látek (sušiny), u laků 50% a u fermeží dokonce až 90%, díky kterým se zajistí dostatečné plnění a tvoření plochy.

Mezi vlastnosti, které mají olejové nátěrové hmoty, patří značná trvanlivost proti povětrnostnímu prostředí, jen částečná odolnost vůči vodě (mimo specifických druhů). Nevýhodou je malá odolnost vůči chemickým vlivům (alkáliím).

Mají rozsáhlé využití, používají se jako ochrana konstrukcí a staveb proti povětrnostnímu prostředí, ale ne tam, kde jejich doba schnutí naruší výrobu nebo i stavbu. [6]

5.1.2 Základní složky nátěrových hmot

Do nátěrových hmot se přidává velké množství surovin o různém množství. Musí se brát ohled na nezávadnost, ekologičnost a zároveň dobré vlastnosti nátěrových hmot.

Základními složkami jsou: [9]

- filmotvorné složky (pojiva, změkčovadla)

Základní funkcí těchto netěkavých látek je vytvořit nátěrový film. Ovlivňují tvrdost, lesk, přilnavost nátěrového filmu a slouží jako prostředí pro pigmenty a plniva. [2] Nejpoužívanější jsou epoxidové, silikonové, akrylátové a polyuretanové pryskyřice. [9]

- těkavé složky (rozpouštědla)

Nejčastěji se definují jako organické sloučeniny, které rozpouští pojiva a převádí filmotvorné složky do roztoku. [2] Hygienická a ekonomická stránka nutí výrobce vyloučit rozpouštědla z nátěrových hmot úplně, částečně nebo je-li možné nahradit je třeba vodou. [9]

- pomocné přísady

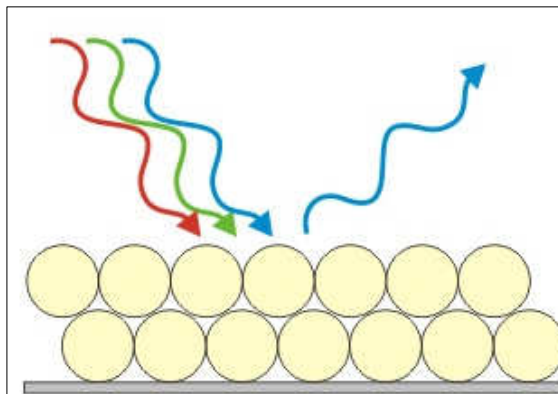
Nátěrové hmoty se už prakticky nevyskytují jen ve své obvyklé podobě (filmotvorné látka, pigment, těkavá látka, plniva). Obsahují pro lepší vlastnosti i určité množství pomocných látek a dají se rozdělit podle specifických účinků do skupin:

- pomocné látky (aditiva, sušidla)
- zahušťovadla
- iniciátory, katalyzátory, urychlovače, inhibitory [9]

- pigmenty

Pigmenty v nátěrové hmotě plní funkci nejen nositele optických vlastností, ale mohou mít i jiné postavení, například ochrannou funkci (antikoroziční vlastnosti). [14]

Pigmenty se dají rozdělit na dvě základní kategorie na anorganické a organické. Podle způsobu vzniku se dělí buď na přírodní nebo umělé. Pigmenty se zpravidla definují jako jemnozrné látky (0,2 - 10 μm), které jsou nerozpustné v pojivu. Jejich největší míra využití je k výrobě nátěrových barev, k barvení plastů, jídla a textilií. [15]



Obr. 26 Odraz světla od pigmentu a vnik světla s odlišnou vlnovou délkou [15]

➤ **Antikoroziční pigmenty**

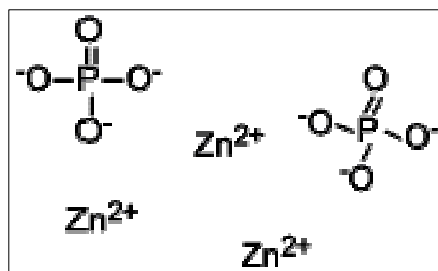
Dříve se nejčastěji používaly antikoroziční pigmenty na bázi olova a chromu (chroman zinečnatý, chroman barnatý). I když byly velmi vhodnou složkou antikorozičních nátěrů pro ocelové podklady, jejich nevýhodou byla toxicita. Jako vhodný pigment, který je nahradí, se zdá být fosforečnan zinečnatý. Nyní probíhá řada studií a výzkumů, ve kterých hraje hlavní roli právě zmíněný fosforečnan zinečnatý a jiné směsné sloučeniny (fosforečnany s obsahem Mn, Zn, Al, Cr, Mo, Ca). [16]

Kovový zinek – Zn

Zinek se nejčastěji vyskytuje jako jemnozrný zinkový prach, má větší záporný elektrodový potenciál než železo, takže oxidace u něj nastává dříve, a tím chrání železo. Nátěry s tímto pigmentem jsou mnohdy použity jako ochrana v přímořských oblastech nebo přímo proti mořské vodě. [15]

Fosforečnan zinečnatý $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$

Fosforečnan zinečnatý je anorganická chemická sloučenina používaná jako přísada do antikorozních nátěrů na kovové povrchy. [29]



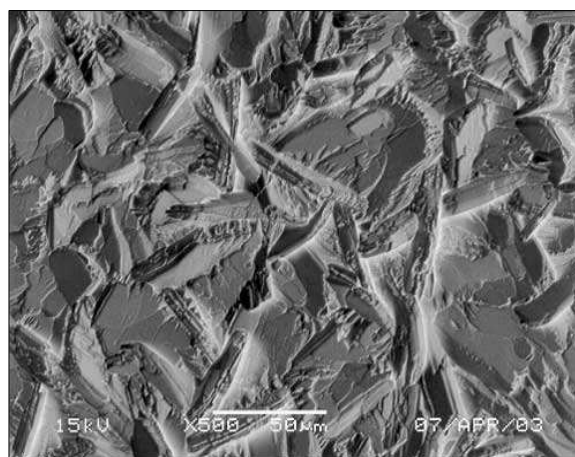
Obr. 27 Chemické složení fosforečnanu zinečnatého $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ [75]

Chemická podstata

Fosforečnan zinečnatý je v podstatě bílý netoxický prášek bez zápachu. Tento pigment nízké průhlednosti se může přizpůsobit široké škále barev, které mají jiné pigmenty. [30] Fosforečnan zinečnatý činí nátěrové hmoty extrémně odolné proti korozi, proti vnikání kapalin, nepodporuje puchýřkování, nátěry rychle zasychají a také se dobře aplikují. [32] Pro menší odolnost v solném (NaCl) a v silně kyselém prostředí se často v nátěrových hmotách aplikuje se sloučeninami neutralizujícími kyselé prostředí (zinková běloba nebo vápenec). [15]



a)



b)

Obr. 28 Fosforečnan zinečnatý a) ve formě prášku [67] b) krystal fosforečnanu zinečnatého zvětšení 500x [02]

Vlastnosti

Fosforečnan zinečnatý má silnou schopnost kondenzace v železité ionty. Ionty fosforečnanu zinečnatého a železa anodovou reakcí mohou tvořit silný ochranný film. Tato

hustá membrána, nerozpustná ve vodě, má vysokou tvrdost a vykazuje vynikající antikorozi vlastnosti. [31]

Je kompatibilní s různými médii včetně epoxidových pryskyřic, alkalických pryskyřic, polyurethenů atd. Použití pigmentu fosforečnanu zinečnatého v nátěru také podporuje vynikající přilnavost mezi nátěry, a to zejména v podmínkách vysoké vlhkosti. [22]

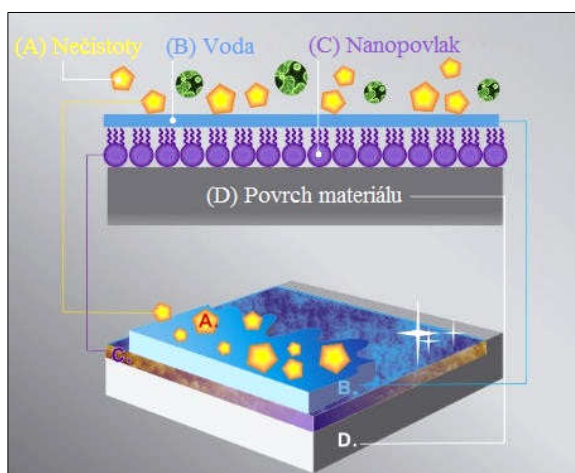
Použití

Fosforečnan zinečnatý je používán v korozivzdorných základních i podkladových nátěrech. [22]

Má široké využití u vodovodního systému, může být použit k syntéze mezi polymerním materiálem s nehořlavou úpravou. Je široce používán u různých nátěrových hmot (vodotěsné, odolné proti kyselinám a protikorozi ochranných nátěrových hmot, jako jsou fenolické barvy, epoxidové barvy, akrylové barvy, pryskyřice...). Používá se ve vodou ředitelných barvách v lodním průmyslu, automobilovém průmyslu, u průmyslových strojů, lehkých kovů, domácích spotřebičů a kovových nádob pro potraviny. [32] [31]

5.2 Nanopovlaky

Nanostrukturní povlaky mohou být definovány jako velmi jemné mikrostruktury, které obsahují složky (krystaly, fáze) v rozsahu ≤ 100 nm. V důsledku toho, mohou nanostrukturované materiály vykazovat odlišné vlastnosti od svých větších protějšků se stejnou jmenovitou skladbou. [35]



Obr. 29 Schéma ochrany povrchu [118]

Mezi dobré vlastnosti nanopovlaků patří vyšší tvrdost a pevnost, [35] tvárnost a tuhost, únosnost, lepší adhezní vlastnosti [21], vyšší odolnost proti opotřebení, vlhkosti, skvrnám,

ochrana před UV zářením, před slanou vodou, požární odolnost [36], ochrana proti solím, mírným kyselinám, [38] kyselému dešti, plísním, poškrábání [40], superplasticita, tepelná roztažnost, supravodivost, lepší magnetické vlastnosti, termoelektrické vlastnosti atd., obecně se dá říct, že prodlužují životnost základních materiálů.

Nejsou škodlivé pro lidi, zvířata a životní prostředí, neobsahují karcinogeny a mají malý obsah VOC (těkavé organické látky). [38]

Trh nanostrukturních povlaků byl oceněn na 980.000.000 dolarů v roce 2009 a očekává se další růst v příštích letech. [18]

5.2.1 Použití nanopovlaků

Nátěry obvykle kombinují ochranné, funkční a dekorativní vlastnosti. Ochranné povlaky se dají aplikovat v optice na objektivy (viz Obr. 30 b), na brýle, které se nepoškrábají. Speciální povlaky v armádě, např. neviditelná letadla (viz Obr. 30 c). Ve stavebnictví a strojírenství jako ochrana před korozí na ocelové konstrukce, hutní nebo hotové výrobky. Ve zdravotnictví jako nosné plochy s menším opotřebením a pro lepší biokompatibilitu. [18] U automobilů může nátěr sloužit jako samočisticí a to jak na celou karoserii, tak i na disky kol.

Solární panely, které jsou k dostání dnes, jsou obvykle vyrobeny ze silikonu a zachytí pouze 67,4% světla. Nanotechnologií se mohou nyní vyrábět vrstvy pro solární panely, které zachytí až 96,7% světla (viz Obr. 30 a). [39]



Obr. 30 Použití nanopovlaků a) solární panely [125] b) objektiv [126] c) letadlo [130]

5.2.2 Aplikace

Nátěry se mohou aplikovat na různé druhy materiálů sklo, keramika, beton, kámen, textil, dřevo, plasty, kovy [37] (železo, nerez, ocel, měď a bronz, pozinkovaná ocel, hliník aj.). [38]

Pokrytí se bude lišit v závislosti na poréznosti, struktuře podkladu a druhu aplikace. Doba schnutí je závislá na teplotě, vlhkosti a tloušťce. [41]

5.3 Nanášení nátěrových hmot

Správná volba technologie závisí nejen na velikosti, tvaru, kvalitě povrchu a množství nanášených předmětů, ale také na vlastnostech jednotlivých nátěrových hmot. [2] Povrch zbavený nečistot, teplota 5 – 60 °C a dobrá relativní vlhkost jsou základní podmínky pro vytvoření nátěru. [28]

5.3.1 Pneumatické stříkání nátěrových hmot

Nejvíce používaný způsob nanášení, který má všestranné využití. Používá se téměř ve všech oborech hromadné i kusové výroby. [9]

Hlavní částí každého stříkacího zařízení je stříkací pistole (viz Obr. 31). Nastavení technologických parametrů, sklon, vzdálenost pistole, tlak vzduchu, průměr trysky ovlivní vznik a kvalitu nanášeného filmu. Nátěrová hmota je proudem vzduchu unášena na povrch stříkaného předmětu. Nevýhodou pneumatického stříkání jsou ztráty rozprašováním, mohou být až 80% při aplikaci nátěru na drobné nebo tvarově složité předměty. Dalším nedostatkem je zhoršení hygienických podmínek při vytékání ředidla. [6] [9]



Obr. 31 50ml Pneumatická pistole [98] [99]

6 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ METODIKY

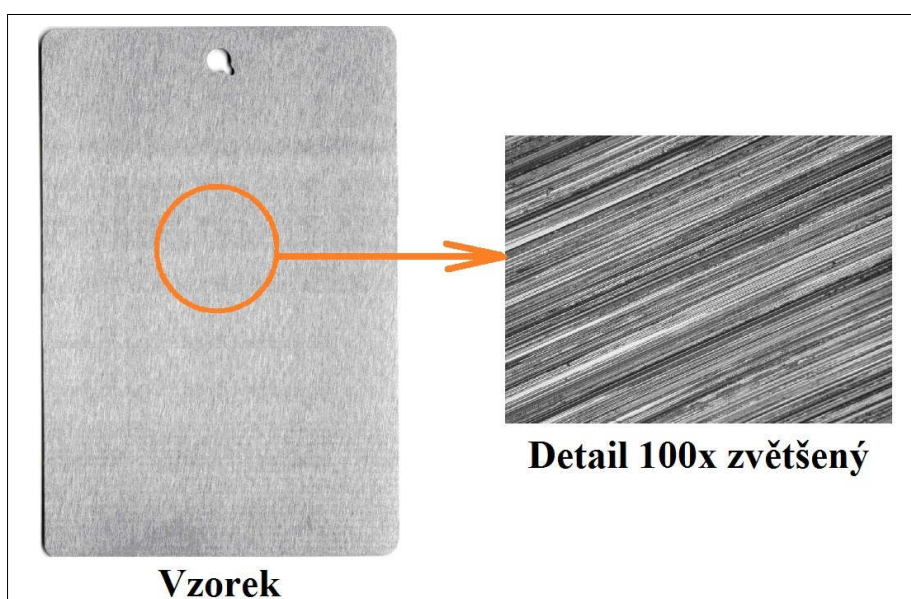
Experimentální vzorky	<ul style="list-style-type: none">- kovový panel Q-LAB CORPORATION- ocelový plech KOSMALT – E 300T - otryskaný- válcovaná trubka
Povrch materiálu	<ul style="list-style-type: none">- fotodokumentace povrchu- chemická rozbor povrchu vzorků- zaprášení povrchu vzorků dle ČSN ISO 8502-3- měření drsnosti povrchu vzorků dle ČSN EN ISO 4287
Aplikace nátěru	<ul style="list-style-type: none">- pneumatické stříkání
Zkoušky nátěrů	<ul style="list-style-type: none">- kontrola tloušťky mokrého filmu dle ČSN EN ISO 2808- měření tloušťky suché vrstvy vzorků dle ČSN EN ISO 2808- mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 2409- zkouška křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2- korozní zkouška v umělé atmosféře – Zkoušky solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227- zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěrů proti podkorodování

7 POPIS A HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

7.1 Experimentální vzorky

Kovový panel Q-LAB CORPORATION

Q-LAB CORPORATION kovové panely o rozměrech 102 x 152 x 0,8 mm jsou vhodné k použití pro laboratorní experimenty nátěrových systémů. Vzorky poskytla firma LABIMEX CZ s.r.o. a jsou vyrobeny z nízkouhlíkové oceli, značené dle této firmy jako CRS SAE 1008/1010, s předem definovatelnou drsností, povrchovou úpravou a čistotou. Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli jsou uvedeny v tab. 2 a tab. 3.



Obr. 32 Vzorek plechu Standard

Tab. 2 Chemické složení nízkouhlíkové oceli CRS SAE 1008/1010

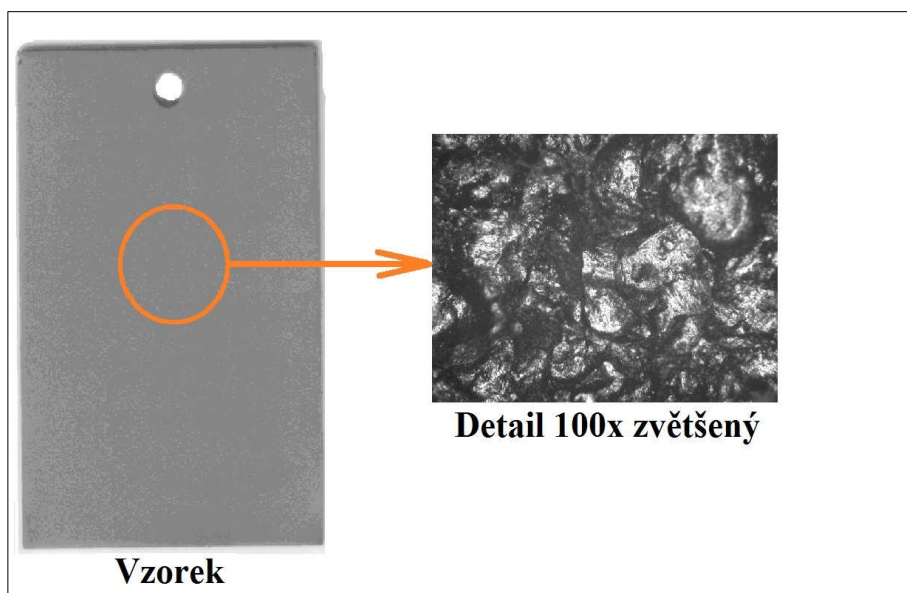
Chemické složení				
Prvek	C	Mn	P	S
Obsah [%]	max. 0,13	0,25 - 0,60	0,04	0,05

Tab. 3 Mechanické vlastnosti nízkouhlíkové oceli CRS SAE 1008/1010

Mechanické vlastnosti	
Mez kluzu Re [MPa]	173
Mez pevnosti v tahu Rm [MPa]	275
Tažnost A ₅ [%]	30

Ocelový plech KOSMALT – E 300T

KOSMALT – E 300T je ocelový plech nařezaný na vzorky o rozměrech 100 x 150 x 3 mm. Vzorky byli dodány firmou VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a.s. ve stavu tryskaném, a to ocelovou drtí na stupeň čistoty Sa 2 $1/2$ dle ČSN EN ISO 8501-1. Chemické složení a mechanické vlastnosti znázorňují tab. 4 a tab. 5.



Obr. 33 Vzorek otryskaného ocelového plechu

Tab. 4 Chemické složení nízkouhlíkové oceli KOSMALT – E 300T

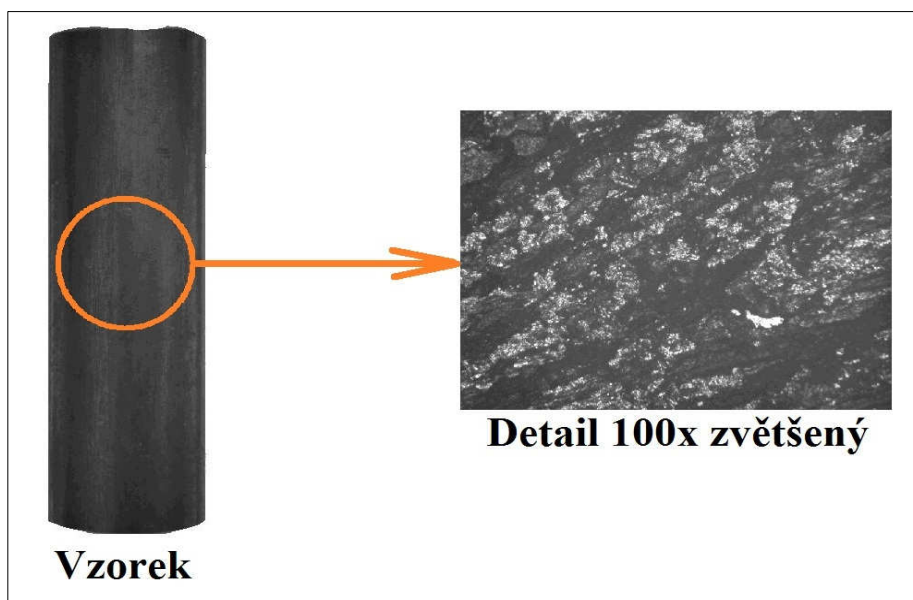
Chemické složení								
Prvek	C	Mn	Si	P	S	Al	N	Ti
Obsah [%]	0,07	0,21	0,03	0,013	0,01	0,042	0,006	0,06

Tab. 5 Mechanické vlastnosti nízkouhlíkové oceli KOSMALT – E 300T

Mechanické vlastnosti	
Mez kluzu Re [MPa]	300 – 450
Mez pevnosti v tahu Rm [MPa]	350 – 550
Tažnost A ₅ [%]	28

Válcovaná trubka

Vzorky za tepla válcovaných trubek bez dalších povrchových úprav nařezaných na vzorky o rozměrech $\varnothing 27 \times 2 - 90$ mm, byli dodány firmou MITTAL STEEL OSTRAVA, a.s. Vzorky rour byly vyrobeny z materiálu S355J2H. Mechanické vlastnosti a chemické složení znázorňují níže uvedené tabulky.



Obr. 34 Vzorek za tepla válcované trubky

Tab. 6 Chemické složení S355J2H

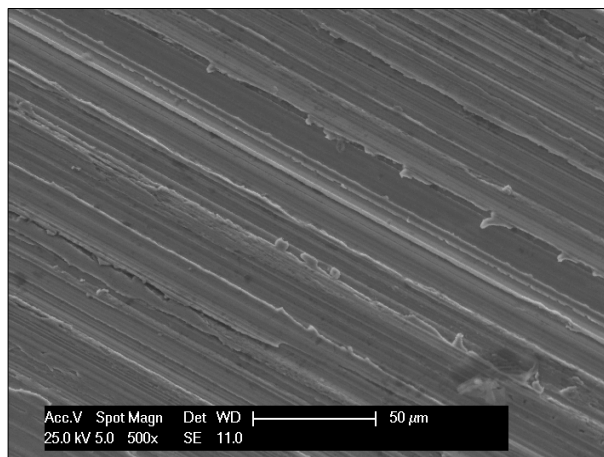
Chemické složení								
Prvek	C	Mn	Si	P	S	Al	Ni	Cr
Obsah [%]	0,1	0,6	0,25	0,025	0,020	0,040	0,30	0,30

Tab. 7 Mechanické vlastnosti S355J2H

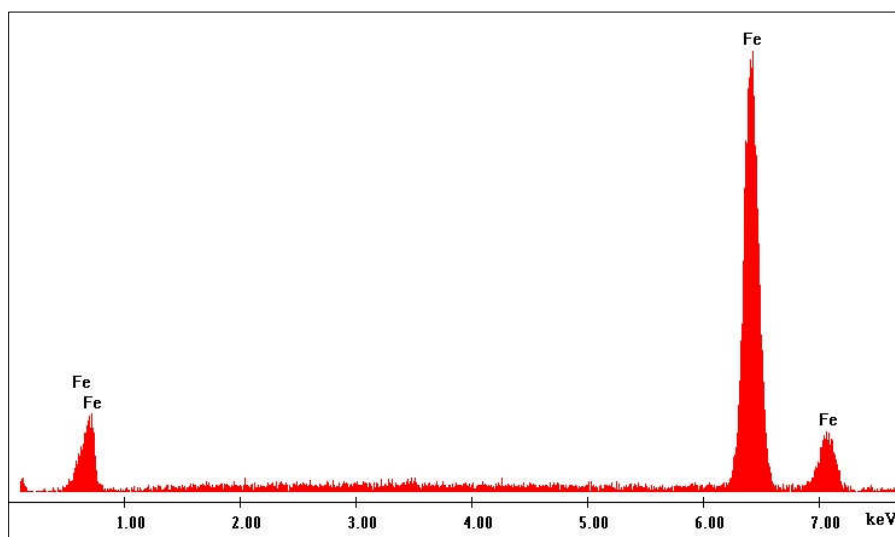
Mechanické vlastnosti	
Mez kluzu Re [MPa]	355
Mez pevnosti v tahu Rm [MPa]	470 – 630
Tažnost A ₅ [%]	22

7.1.1 Fotodokumentace a chemický rozbor povrchu vzorků

Analýza chemické složení povrchu vzorků byla provedena v Centru nanotechnologií se sídlem ve VŠB – TU Ostrava. Jako přístroj pro hodnocení chemické analýzy povrchu byl použit elektronový mikroskop EDAX PHILIPS XL 30.



Obr. 35 Fotodokumentace povrchu vzorku Standard (zvětšení 500x)



Obr. 36 Grafické vyjádření chemického rozboru u vzorku Standard

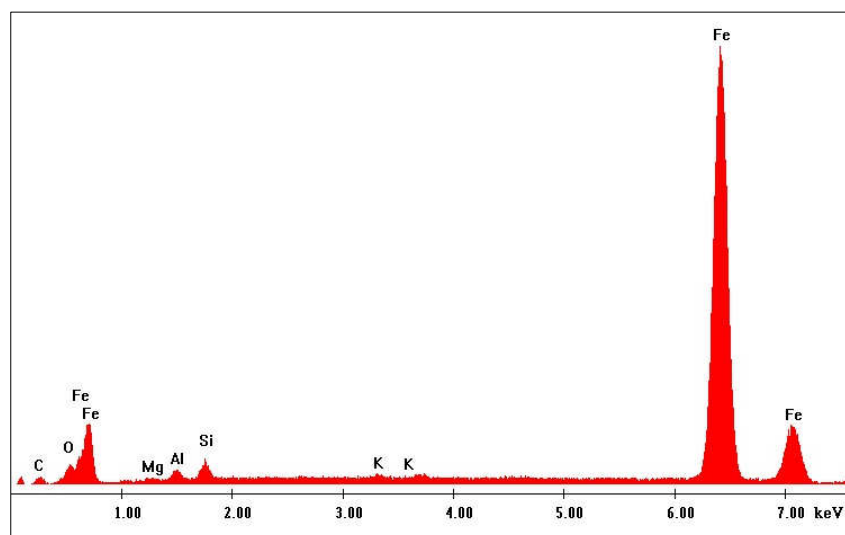
Tab. 8 Chemický rozbor povrchu vzorku Standard

Chemický rozbor povrchu vzorku Standard	
Prvek	Fe
Váhové množství Wt [%]	100



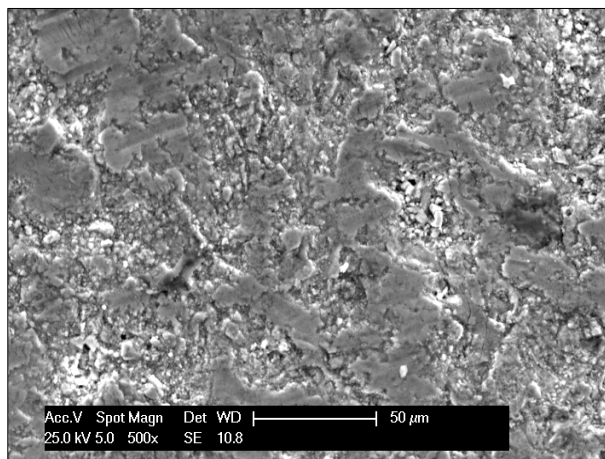
Obr. 37 Fotodokumentace povrchu otryskaného vzorku (zvětšení 500x)

Obr. 38 Grafické vyjádření chemického rozboru u otryskaného vzorku

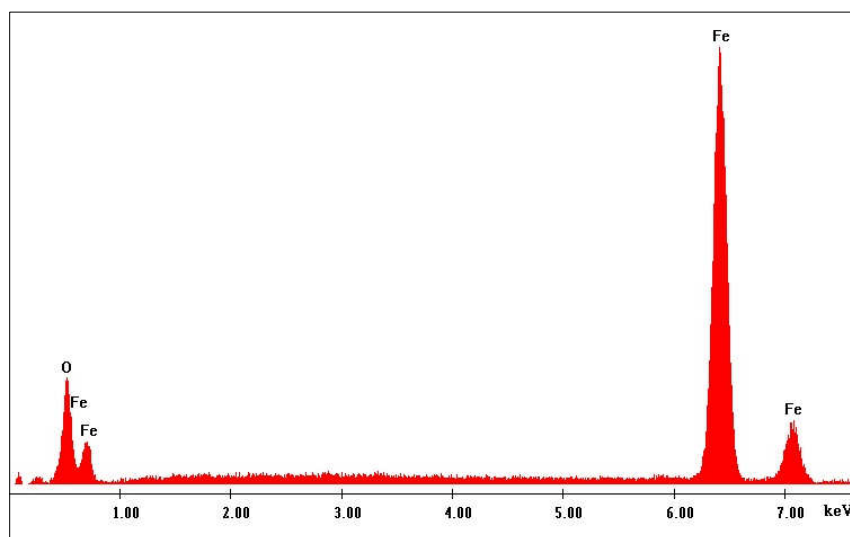


Tab. 9 Chemický rozbor povrchu otryskaného vzorku

Chemický rozbor povrchu vzorku Standard							
Prvek	Fe	C	O	Si	Al	Mg	K
Váhové množství Wt [%]	81,6	8,58	5,17	2,05	1,64	0,65	0,3



Obr. 39 Fotodokumentace povrchu trubky (zvětšení 500x)



Obr. 40 Grafické vyjádření chemického rozboru u vzorku trubky

Tab. 10 Chemický rozbor povrchu vzorku trubky

Chemický rozbor povrchu vzorku Standard		
Prvek	Fe	O
Váhové množství Wt [%]	78,88	21,12

7.2 Charakteristika použitých nátěrových systémů

Jako první byla použita transparentní vodouředitelná nátěrová hmota na bázi alkydové pryskyřice. Pojivová složka byla dodána společností DENAS COLOR a.s. a ve spolupráci s VŠB-TU Ostrava je nátěrová hmota vyvíjena do nové podoby. Do této nátěrové hmoty (označení NH DC) byl v laboratoři povrchových úprav na VŠB-TU Ostrava vmíchán 6 – 9 hm. % antikorozního pigmentu fosforečnanu zinečnatého (obchodní označení ZP 10).

Druhý aplikovaný povlak dodaný ve spolupráci s Ruskou federací je transparentní nátěrová hmota na bázi akrylátu obsahující inhibitory koroze, aditiva, vodu a antikorozní pigmenty, které v reakci s povrchem vytvářejí tenkou ochrannou vrstvu o tloušťce 50 nm.

Podrobnější informace o složení nebo vlastnostech nejsou z důvodu dalšího stádia vývoje nátěrových systémů v této práci uvedeny.

7.3 Označení vzorků

Pro přehlednost byly vzorky označeny dvěma písmeny. První z nich označuje, jakého byla sada vzorků materiálu a úpravy. Druhé písmeno pojednává o druhu nátěru, který byl na podkladový materiál nanesen.

První písmeno:

„S“ – kovové broušené panely vyrobené z nízkouhlíkové oceli CRS SAE 1008/1010

„O“ – ocelové plechy otryskané ocelovou drtí vyrobené z oceli KOSMALT – E 300T

„T“ – za tepla válcované trubky vyrobené z materiálu S355J2H

Druhé písmeno:

„R“ – transparentní nátěr na bázi akrylátu obsahující inhibitory koroze a antikorozní pigmenty

„D“ – transparentní vodouředitelná nátěrová hmota na bázi alkydové pryskyřice

7.4 Zaprášení povrchu vzorků dle ČSN ISO 8502-3

Pomocí této metody se zjišťuje, jaké je množství a velikost prachovým částic na povrchu. Nečistoty ovlivňují funkčnost ochranných povlaků, proto se zkouška provádí na ocelovém povrchu těsně před nanesením nátěru. [16]


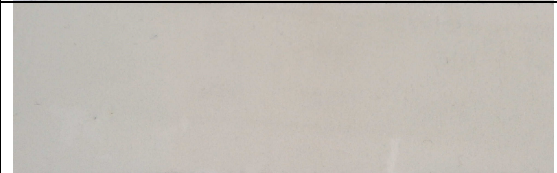

Při teplotě $T = 19,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vlhkosti 62 % byla zkouška provedena v laboratoři VŠB – Technické universitě Ostrava.

Na vzorcích připravených k natírání, byla provedena zkouška prašnosti povrchu metodou snímací páskou dle ČSN ISO 8502-3. Hlavní pomůckou k provedení zkoušky je bezbarvá, průhledná samolepící páska, která se lehce přitlačí na povrch vzorku. Při dalším kroku se pod úhlem 180° sejme a je nalepena na kontrastní podklad, v tomto případě bílý papír. Poté následuje vyhodnocení stupně zaprášení a třídy velikosti prachových částic.


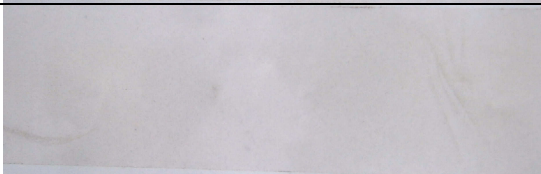

Pro vyhodnocení byly použity tabulky z normy, se kterými se porovnála hustota (1 – minimální zaprášení, 5 – maximální zaprášení) a velikost částic (od nejmenších 0 – 5). Tabulky jsou zobrazeny v příloze A.

7.4.1 Výsledky zaprášení




Tab. 11 Zaprášení plechů Standard

Označení vzorku	Zaprášení pásky	Stupeň zaprášení	Třída velikosti částic
„S“		0	0
„S“		0	0
„S“		0	0

Tab. 12 Zaprášení otryskaných vzorků

Označení	Zaprášení pásy	Stupeň zaprášení	Třída velikosti částic
„O“		0	0
„O“		0	0
„O“		0	0

Tab. 13 Zaprášení vzorků trubky

Označení	Zaprášení pásy	Stupeň zaprášení	Třída velikosti částic
„T“		5	2
„T“		5	2
„T“		5	2

7.5 Měření drsnosti povrchu vzorků dle ČSN EN ISO 4287

Před aplikací nátěru byla na povrchu vzorku změřena drsnost. Měření bylo desetkrát opakováno dle ČSN EN ISO 4287 a naměřené hodnoty byly zapsány do tabulek, pro plech Standard (viz Tab. 14 a Tab. 15), pro otryskaný vzorek (viz Tab. 16 a Tab. 17) a pro trubky (viz Tab. 18). Následně byli spočítány průměrné hodnoty. Pro každé desáté měření byl uložen graf (viz Graf 1 – Graf 5). Na toto měření byl použit přístroj Mitutoyo Surftest SJ – 301 (viz Obr. 41).



Obr. 41 Mitutoyo Surftest SJ – 301

Ra - střední aritmetická úchylka profilu [μm]

Rz - největší výška profilu [μm]

Rq - průměrná kvadratická úchylka profilu [μm]

Rp - největší výška výstupku profilu [μm]

Rv - největší hloubka prohlubně profilu [μm]

Rsk - šikmost posuzovaného profilu [-]

Rku - špičatost posuzovaného profilu [-]

RLo - rozvinutá délka měřeného profilu [mm] [6]

7.5.1 Výsledky měření drsnosti

Povrch vzorku Standard

Parametry měření byly zvoleny dle ISO 1997. $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$

$L = 4 \text{ mm}$

λ_c - filtr profilu (určuje rozhraní mezi složkami vlnitosti a drsnosti)

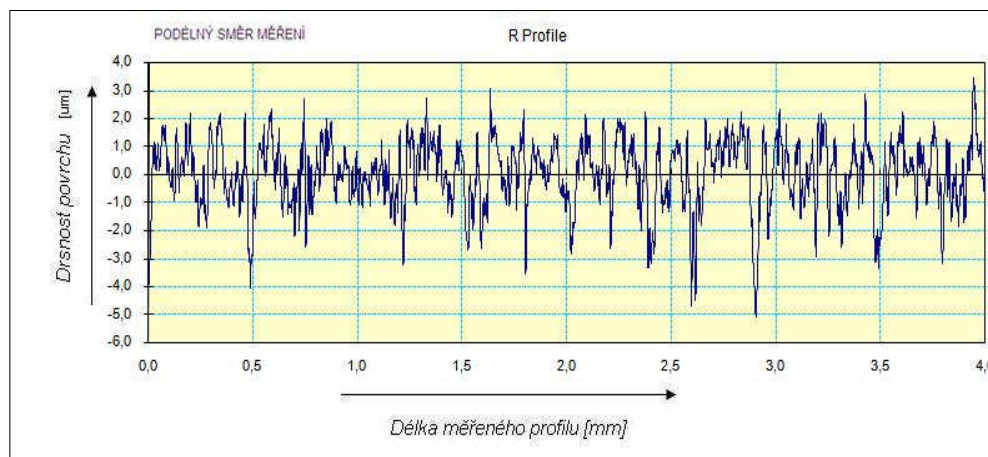
L - měřená délka

Tab. 14 Naměřené parametry drsnosti povrchu vzorku Standard v podélném směru

Měření parametrů drsnosti dle ISO 1997								
Počet měření	Měření v podélném směru							
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	0,15	1,04	0,20	0,70	0,34	0,63	3,99	0,801
2	0,64	3,22	0,79	1,65	1,58	-0,13	2,30	0,802
3	0,21	1,67	0,28	1,12	0,55	1,02	5,75	0,801
4	0,39	2,14	0,49	1,41	0,73	0,71	3,17	0,801
5	0,14	0,79	0,18	0,44	0,35	0,37	3,28	0,800
6	0,18	1,00	0,23	0,53	0,47	-0,13	2,56	0,801
7	0,26	1,72	0,34	1,06	0,66	0,62	3,98	0,801
8	0,20	1,68	0,29	1,06	0,62	0,81	5,11	0,801
9	0,43	2,86	0,56	2,03	0,83	1,44	6,15	0,803
10	0,30	2,42	0,43	1,61	0,81	0,80	6,61	0,801
Min. hodnoty	0,14	0,79	0,18	0,44	0,34	-0,13	2,30	0,800
Max. hodnoty	0,64	3,22	0,79	2,03	1,58	1,44	6,61	0,803
Průměrné hodnoty	0,29	1,85	0,38	1,16	0,69	0,61	4,29	0,801

Výsledné průměrné hodnoty: $Ra = (0,29 \pm 0,17) \mu\text{m}$ $Rz = (1,85 \pm 0,86) \mu\text{m}$

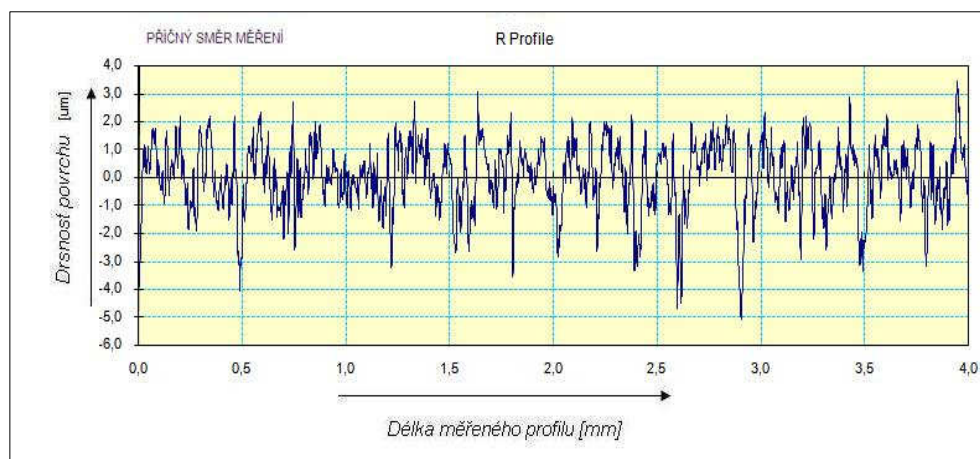
Graf 1 Graf profilu drsnosti povrchu vzorku Standard v podélném směru pro měření č. 10



Tab. 15 Naměřené parametry drsnosti povrchu vzorku Standard v příčném směru

Měření parametrů drsnosti dle ISO 1997								
Počet měření	Měření v příčném směru							
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	0,95	7,21	1,23	3,01	4,19	-0,73	3,81	0,826
2	0,91	6,57	1,16	2,67	3,90	-0,63	3,54	0,824
3	0,94	6,68	1,20	2,92	3,96	-0,58	3,56	0,825
4	0,87	6,78	1,13	2,69	4,09	-0,55	4,02	0,822
5	0,96	6,51	1,20	2,90	3,61	-0,45	3,05	0,824
6	0,85	6,40	1,10	2,64	3,76	-0,59	3,75	0,822
7	0,87	7,18	1,13	2,92	4,26	-53,00	4,22	0,824
8	0,88	6,41	1,10	2,82	3,59	-0,37	3,12	0,822
9	0,97	8,20	1,31	2,96	5,25	-1,03	5,24	0,824
10	0,95	6,70	1,19	2,83	3,87	-0,52	3,38	0,822
Min. hodnoty	0,85	6,40	1,10	2,64	3,59	-53,00	3,05	0,822
Max. hodnoty	0,97	8,20	1,31	3,01	5,25	-0,37	5,24	0,826
Průměrné hodnoty	0,92	6,86	1,18	2,84	4,05	-5,85	3,77	0,824

Výsledné průměrné hodnoty: $Ra = (0,92 \pm 0,46) \mu m$ $Rz = (6,86 \pm 0,62) \mu m$

Graf 2 Graf profilu drsnosti povrchu vzorku Standard v příčném směru pro měření č. 10

Povrch otryskaného vzorku

Parametry měření byly zvoleny dle ISO 1997. $\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$
 $L = 12,5 \text{ mm}$

λ_c - filtr profilu (určuje rozhraní mezi složkami vlnitosti a drsnosti)

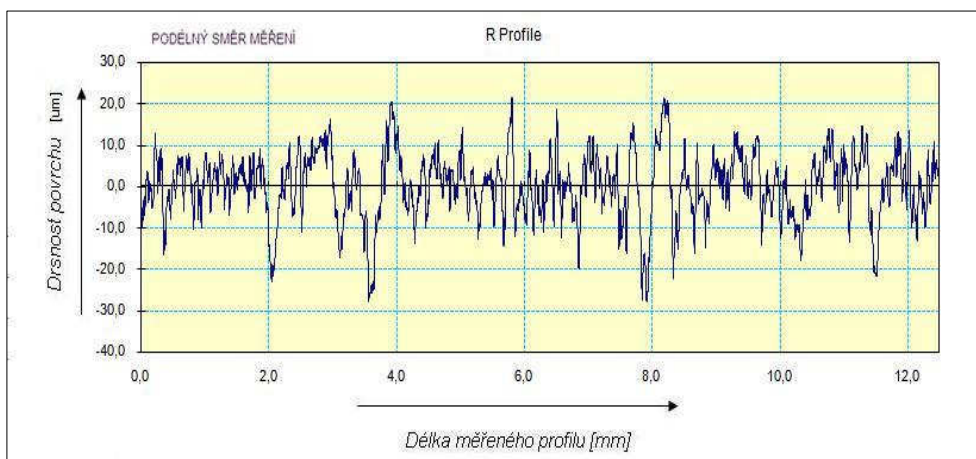
L - měřená délka

Tab. 16 Naměřené drsnosti povrchu otryskaného vzorku v podélném směru

Měření parametrů drsnosti dle ISO 1997								
Počet měření	Měření v podélném směru							
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	6,44	46,83	8,24	19,15	27,68	-0,33	3,69	2,207
2	8,81	61,39	11,53	25,78	35,61	-0,45	3,70	2,691
3	7,75	52,61	10,28	19,31	33,30	-0,61	3,56	2,694
4	5,93	50,32	8,20	16,72	33,60	-1,04	6,02	2,705
5	7,51	54,96	9,90	20,27	34,70	-0,73	4,24	2,719
6	7,28	52,03	9,27	21,72	30,31	-0,56	3,47	2,701
7	7,72	54,11	10,27	23,89	30,22	-0,12	3,66	2,710
8	8,34	69,72	11,57	28,23	41,49	-0,57	4,74	2,721
9	6,59	47,27	8,63	19,65	27,63	-0,42	3,57	2,700
10	6,28	42,14	8,01	18,01	24,13	-0,45	3,51	2,691
Min. hodnoty	5,93	42,14	8,01	16,72	24,13	-1,04	3,47	2,207
Max. hodnoty	8,81	69,72	11,57	28,23	41,49	-0,12	6,02	2,721
Průměrné hodnoty	7,27	53,14	9,59	21,27	31,87	-0,53	4,02	2,654

Výsledné průměrné hodnoty: $Ra = (7,27 \pm 1) \mu\text{m}$ $Rz = (53,14 \pm 8,88) \mu\text{m}$

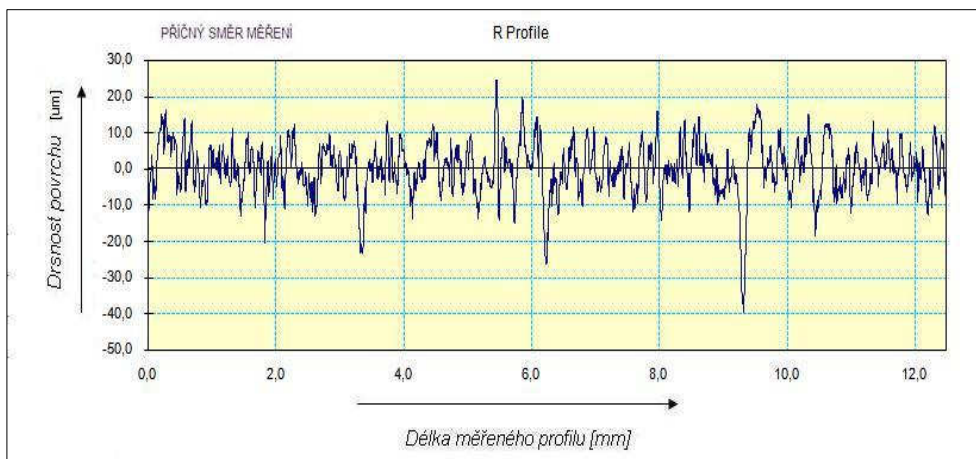
Graf 3 Graf profilu drsnosti povrchu otryskaného vzorku v podélném směru pro měření č. 10



Tab. 17 Naměřené drsnosti povrchu otryskaného vzorku v příčném směru

Měření parametrů drsnosti dle ISO 1997								
Počet měření	Měření v příčném směru							
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	6,34	49,31	8,29	18,98	30,33	-0,51	4,00	2,699
2	6,22	48,89	8,39	20,51	28,38	-0,67	4,35	2,699
3	6,81	55,76	9,57	18,75	37,01	-1,08	5,43	2,700
4	5,98	45,91	7,69	19,17	26,75	-0,38	3,59	2,680
5	6,57	51,49	8,60	20,04	31,44	-0,61	4,13	2,710
6	6,85	44,87	8,52	17,93	26,94	-0,44	3,26	2,680
7	5,55	42,90	7,29	18,02	24,87	-0,28	4,61	2,694
8	6,23	47,43	8,08	25,15	22,27	0,33	3,57	2,685
9	6,51	48,70	8,58	19,29	29,41	-0,73	4,19	2,702
10	5,38	42,88	7,08	17,17	25,71	-0,41	4,36	2,697
Min. hodnoty	5,38	42,88	7,08	17,17	22,27	-1,08	3,26	2,680
Max. hodnoty	6,85	55,76	9,57	25,15	37,01	0,33	5,43	2,710
Průměrné hodnoty	6,24	47,81	8,21	19,50	28,31	-0,48	4,15	2,695

Výsledné průměrné hodnoty: $Ra = (6,24 \pm 0,52) \mu m$ $Rz = (47,81 \pm 4,36) \mu m$

Graf 4 Graf profilu drsnosti povrchu otryskaného vzorku v příčném směru pro měření č. 10

Povrch trubky

Parametry měření byly zvoleny dle ISO 1997. $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$

$L = 4 \text{ mm}$

λ_c - filtr profilu (určuje rozhraní mezi složkami vlnitosti a drsnosti)

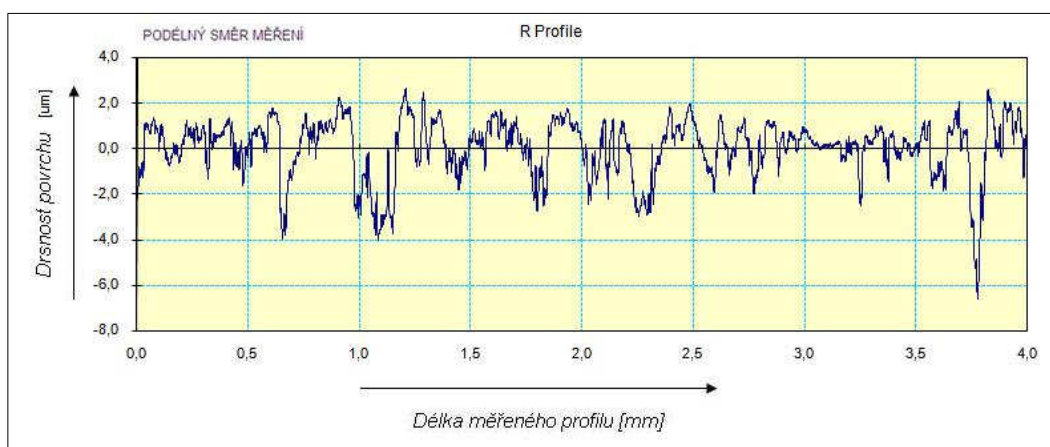
L - měřená délka

Tab. 18 Naměřené drsnosti povrchu vzorku trubky v podélném směru

Měření parametrů drsnosti dle ISO 1997								
Počet měření	Měření v podélném směru							
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	1,99	11,02	2,53	4,51	6,51	-0,64	3,07	0,812
2	1,65	9,17	2,03	3,36	5,80	-0,47	3,39	0,814
3	1,60	9,33	1,99	3,29	6,05	-0,87	3,63	0,810
4	0,76	5,19	0,96	2,37	2,81	-0,27	3,16	0,811
5	1,76	11,42	2,25	5,15	6,27	-0,68	3,56	0,823
6	1,74	10,14	2,11	3,79	6,35	-0,61	3,01	0,830
7	1,11	9,28	1,54	3,67	5,61	-0,23	3,14	0,815
8	0,99	6,57	1,23	2,88	3,70	-0,55	3,16	0,813
9	1,09	6,59	1,38	2,51	4,08	-0,65	3,20	0,811
10	0,96	6,07	1,24	2,13	3,94	-0,82	4,06	0,811
Min. hodnoty	0,76	5,19	0,96	2,13	2,81	-0,87	3,01	0,810
Max. hodnoty	1,99	11,42	2,53	5,15	6,51	-0,23	4,06	0,830
Průměrné hodnoty	1,37	8,48	1,73	3,37	5,11	-0,58	3,34	0,815

Výsledné průměrné hodnoty: $Ra = (1,37 \pm 0,45) \mu\text{m}$ $Rz = (8,48 \pm 2,29) \mu\text{m}$

Graf 5 Graf profilu drsnosti povrchu vzorku trubky v podélném směru pro měření č. 10



7.6 Aplikace nátěru

Aplikace nátěrů probíhala v laboratoři VŠB – Technické universitě Ostrava. Obě nátěrové hmoty byly nanесeny pneumatickým stříkáním v jedné vrstvě na sadu vzorků, které byly později použity pro experimentální zkoušky. Vzorky válcovaných trubek za tepla byly před aplikací nátěrových systému předehřáté na 40°C.

Tloušťka mokré vrstvy byla kontrolována bezprostředně po aplikaci nátěru hřebenovou měrkou dle ČSN EN ISO 2808. Byla použita hřebenová měrka firmy BASTRO (rozsah měření 25-2000 µm) (viz Obr. 42). Ještě před použitím měrky se zkontrolují její zuby, jejich čistota a jestli nejsou poškozené nebo opotřebované. Co nejdříve po nanесení nátěru se kolmo na povrch přiloží měrka a nejvyšší zub, který byl smočen se vyhodnotí jako tloušťka mokrého filmu.



Obr. 42 Hřebenová měrka BASTRO

7.6.1 Technologický postup nanášení nátěrové hmoty firmy Denas Color, a.s.

- nástřík mokré vrstvy o tloušťce 200 µm nechat volně zasychat 1 hodinu při pokojové teplotě
- vytvrzování nátěru v peci PREMED KBC G-100/250 při teplotě 80 °C po dobu 6 hodin

7.6.2 Technologický postup nanášení nátěrové hmoty Ruskou federací

- nástřík mokré vrstvy o tloušťce 200 µm nechat volně zasychat 10 minut při pokojové teplotě
- vytvrzování nátěru v peci PREMED KBC G-100/250 při teplotě 70 °C po dobu 20 minut
- nechat volně na vzduchu 30 minut při pokojové teplotě

7.7 Měření tloušťky suché vrstvy nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808

Až nátěr patřičně zaschnul, byla u každého vzorku změřena tloušťka suchého filmu. Měření se desetkrát opakovalo a naměřené hodnoty byly zapsány podle druhu substrátu do tabulky. Průměrné hodnoty jednotlivých tloušťek suché vrstvy vzorků Standard, válcovaných trubek a otryskaných plechů s nátěrovým systémem „R“ a nátěrem „D“ jsou zapsány v tabulce č. 19. Jako přístroj pro tuto zkoušku byl použit ELCOMETR 456 (rozsah měření tloušťky od 0-1500 μm) (viz Obr. 43), který pracuje na základě elektromagnetické indukce. Kompletní naměřené hodnoty suché vrstvy všech nátěrů jsou k nahlédnutí v příloze B.



Obr. 43 ELCOMETR 456

7.7.1 Výsledky měření tloušťky suché vrstvy nátěrového systému

Tab. 19 Výsledky měření tloušťky suché vrstvy nátěrových systémů

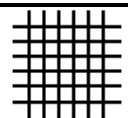
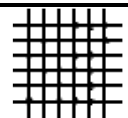
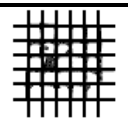
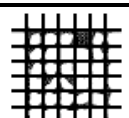
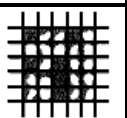
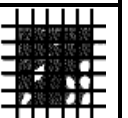
Průměrné hodnoty měření suché vrstvy nátěrového systému [μm]		
Označení vzorku	Nátěrový systém „R“	Nátěrový systém „D“
„S“	62,89	65,19
„O“	71,90	65,91
„T“	76,02	74,64

7.8 Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 2409

Touto metodou byla hodnocena odolnost povlaků nátěrových hmot k oddělení od podkladu. Podmínkou bylo proříznutí až k podkladu. [22]

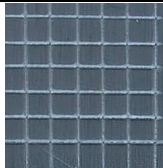
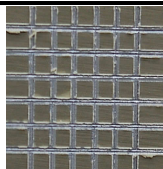
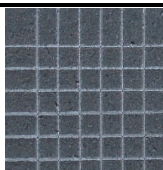
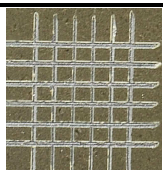
Vzorek určený ke zkoušce se umístí na pevný rovný povrch. Zabrání se možné deformaci při zkoušení. Před provedením zkoušky se zkontroluje ostří řezného nástroje, jestli je v dobrém stavu. Při zkoušce se vede řezný nástroj stejnosměrným tlakem kolmo k povrchu zkušebního vzorku. Správné dráhu vedení nám zajišťuje vodící šablona. Vzhledem ke tloušťce povlaku je vzdálenost řezů dle normy 2 mm, je provedeno 6 řezů. Pro vytvoření mřížky je nutné otočit vzorek a vytvořit do nátěru opět 6 řezů se vzdáleností 2 mm. Po vytvoření mřížky se měkkým štětcem lehce oťrou podélné směry obou úhlopříček. Pro vyhodnocení se přilepí průhledná samolepící páska o šířce 25 mm. V místě mřížky se pro lepší kontakt s nátěrem přejede prstem, za pět minut se odlepí pod úhlem 60° a během 0,5 – 1 s se strhne. Kvůli malému průměru vzorků válcovaných trubek za tepla nemohla být na nich tato zkouška provedena.

Tab. 21 Klasifikace výsledků zkoušek

Klasifikace	0	1	2	3	4	5
Míra poškození [%]	0	0<5	5<15	15<35	35<65	65<100
Vzhled poškozené mřížky						

7.8.1 Výsledky mřížkové zkoušky

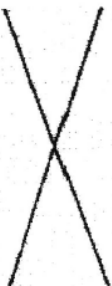


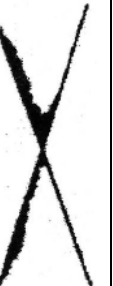


Tab. 22 Výsledky mřížkové zkoušky

Podkladový materiál	Nátěrový systém	Hodnocení	Průměrná hodnota	Referenční snímek mřížkové zkoušky
„S“	„R“	1	0,33	
		0		
		0		
	„D“	1	1,33	
		2		
		1		
„O“	„R“	0	0,33	
		1		
		0		
	„D“	2	1,33	
		1		
		1		

7.9 Zkouška křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2


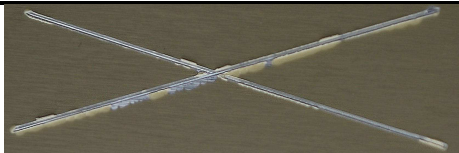

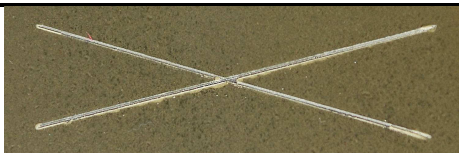
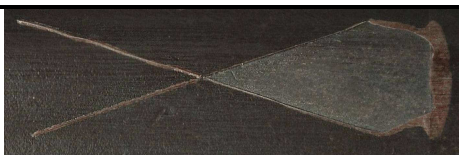
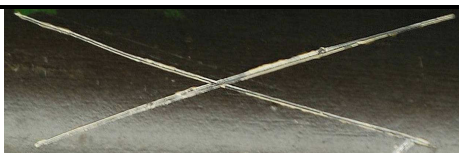
Křížovým řezem se hodnotí odolnost nátěrových systémů proti poškození. Postup je podobný jako u mřížkové zkoušky, vzorek se položí na pevný rovný povrch. Šablona se umístí na povrch a řezným nástrojem s jedním ostřím se prořízne povlak v délce 40 mm. Šablona se pootočí a udělá se druhý řez, který protne první uprostřed pod úhlem 30°- 45°. Ustříhne se lepicí páska 75 mm dlouhá, pevně se přitiskne k řezu a po pěti minutách se stáhne.

Tab. 23 Klasifikace výsledků zkoušek

Stupeň	0	1	2	3	4	5
Vzhled poškozené mřížky						

7.9.1 Výsledky zkoušky křížovým řezem

Tab. 24 Výsledky zkoušky křížovým řezem

Podkladový materiál	Nátěrový systém	Hodnocení	Průměrná hodnota	Referenční snímek zkoušky křížovým řezem
„S“	„R“	0	0,33	
		0		
		1		
	„D“	1	1,33	
		2		
		1		
„O“	„R“	0	0,33	
		1		
		0		
	„D“	0	0,67	
		1		
		1		
„T“	„R“	5	5	
		5		
		5		
	„D“	1	1	
		1		
		1		

7.10 Korozní zkouška v umělé atmosféře – Zkoušky solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227

Pomocí této zkoušky se zjišťuje odolnost proti korozi. Zkouška byla provedena v korozní komoře LIEBISCH S400 M-TR (viz Obr. 44) na VŠB – TU Ostrava podle normy ČSN EN ISO 9227 a vzorky byly vyhodnoceny dle ČSN EN ISO 4628. V korozní komoře byly jak vzorky bez porušení, tak vzorky s řezem v povlaku až na podkladový materiál dlouhým 70 mm. Maximální doba expozice v korozní komoře byla 48 hodin, což představuje krátkodobou protikorozní ochranu, a to zhruba 240 dní (viz Tab. 25) v prostředí C5 - velmi vysoká (průmyslová) atmosférická korozní agresivita. Po předem stanovených cyklech 0, 8, 16, 24, 48 hodin proběhla u vzorků fotodokumentace. Kompletní fotodokumentace korozní zkoušky vzorků bez řezu viz příloha C a s řezem viz příloha D.

7.10.1 Provozní podmínky korozní komory LIEBISCH S400 M-TR

- tlak vzduchu 3÷4 bar
- tlak vody 2,5÷3 bar
- průtok vody 0,45 l/hod
- teplota prostředí 35 ± 2 °C
- teplota navlhčovače 55 °C
- vlhkost 100 %
- solná mlha - 5 % vodný roztok NaCl



Obr. 44 LIEBISCH S400 M-TR

7.10.2 Orientační hodnoty mezi realitou a simulací v korozní komoře

Tab. 25 Vypočtená orientační korozní odolnost [42]



Korozní odolnost	
Simulovaná doba v korozní komoře	Realita - skutečnost
720 h	cca 10 let
48 h	cca 240 dní
24 h	cca 120 dní
16 h	cca 80 dní
8 h	cca 40 dní
6 h	cca 1 měsíc

7.10.3 Výsledky korozní zkoušky v umělých atmosférách



Tab. 26 Vzorky plechu Standard bez řezu po 0 hodinách expozice v korozní komoře

Vzorky Standard bez řezu	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	



Tab. 27 Vzorky plechu Standard bez řezu po 48 hodinách expozice v korozní komoře

Vzorky Standard bez řezu	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	



Tab. 28 Vzorky plechu Standard s řezem po 0 hodinách expozice v korozní komoře

Vzorky Standard s řezem	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	



Tab. 29 Vzorky plechu Standard s řezem po 48 hodinách expozice v korozní komoře

Vzorky Standard s řezem	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	



Tab. 30 Otryskané vzorky bez řezu po 0 hodinách expozice v korozní komoře

Otryskané vzorky bez řezu	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	



Tab. 31 Otryskané vzorky bez řezu po 48 hodinách expozice v korozní komoře

Otryskané vzorky bez řezu	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	

Tab. 32 Otryskané vzorky s řezem po 0 hodinách expozice v korozní komoře

Otryskané vzorky s řezem	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	



Tab. 33 Otryskané vzorky s řezem po 48 hodinách expozice v korozní komoře

Otryskané vzorky s řezem	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	

Tab. 34 Vzorky válcované trubky bez řezu po 0 hodinách expozice v korozní komoře

Vzorky válcované trubky bez řezu	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	

Tab. 35 Vzorky válcované trubky bez řezu po 48 hodinách expozice v korozní komoře

Vzorky válcované trubky bez řezu	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	

Tab. 36 Vzorky válcované trubky s řezem po 0 hodinách expozice v korozní komoře**Tab. 37** Vzorky válcované trubky s řezem po 48 hodinách expozice v korozní komoře

Tab. 38 Hodnocení korozní zkoušky v umělých atmosférách (bez řezu) dle ČSN EN ISO 4628

Hodnocení korozní zkoušky v umělých atmosférách (bez řezu)			
Označení vzorku	Stupeň puchýřkování	Stupeň prerezivění	Stupeň koroze/delaminace
0 hodin expozice v korozní komoře			
„SR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„OR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„TR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„SD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„OD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„TD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
8 hodin expozice v korozní komoře			
„SR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„OR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„TR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„SD“	2 (S2)	Ri 5 (S3)	-
„OD“	2 (S2)	Ri 5 (S3)	-
„TD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
16 hodin expozice v korozní komoře			
„SR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„OR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„TR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„SD“	4 (S2)	Ri 5 (S3)	-
„OD“	2 (S2)	Ri 5 (S3)	-
„TD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
24 hodin expozice v korozní komoře			
„SR“	1 (S1)	Ri 1 (S1)	-
„OR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„TR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„SD“	4 (S3)	Ri 5 (S4)	-
„OD“	3 (S2)	Ri 5 (S4)	-
„TD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
48 hodin expozice v korozní komoře			
„SR“	4 (S3)	Ri 5 (S3)	-
„OR“	3 (S3)	Ri 4 (S4)	-
„TR“	2 (S2)	Ri 1 (S2)	-
„SD“	5 (S3)	Ri 5 (S4)	-
„OD“	3 (S3)	Ri 5 (S4)	-
„TD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-

Tab. 39 Hodnocení korozní zkoušky v umělých atmosférách (s řezem) dle ČSN EN ISO 4628

Hodnocení korozní zkoušky v umělých atmosférách (s řezem)			
Označení vzorku	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorozivění	Stupeň koroze/delaminace
0 hodin expozice v korozní komoře			
„SR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0
„OR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0
„TR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0
„SD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0
„OD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0
„TD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0
8 hodin expozice v korozní komoře			
„SR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/0
„OR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/0
„TR“	0 (S0)	Ri 1 (S1)	1/1
„SD“	3 (S2)	Ri 3 (S2)	1/0
„OD“	0 (S0)	Ri 5 (S2)	1/0
„TD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/0
16 hodin expozice v korozní komoře			
„SR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/0
„OR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/0
„TR“	3 (S1)	Ri 3 (S2)	1/1
„SD“	4 (S2)	Ri 4 (S3)	1/0
„OD“	2 (S1)	Ri 5 (S2)	1/0
„TD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/0
24 hodin expozice v korozní komoře			
„SR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/0
„OR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	2/1
„TR“	4 (S2)	Ri 4 (S3)	2/1
„SD“	4 (S2)	Ri 5 (S4)	1/1
„OD“	2 (S2)	Ri 5 (S3)	1/0
„TD“	2 (S2)	Ri 0 (S0)	1/0
48 hodin expozice v korozní komoře			
„SR“	3 (S1)	Ri 1 (S1)	1/1
„OR“	3 (S2)	Ri 3 (S2)	3/1
„TR“	4 (S3)	Ri 5 (S4)	4/2
„SD“	3 (S4)	Ri 5 (S4)	2/2
„OD“	4 (S3)	Ri 5 (S3)	2/1
„TD“	2 (S3)	Ri 2 (S2)	2/0

7.11 Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěrů proti podkorodování



Zkouška byla provedena podle normy ČSN 67 3087 a provádí se ke zjištění schopnosti nátěrových systémů chránit povrch podkladu proti podkorodování. Nátěr je vystaven působení okyseleného roztoku chloridu sodného NaCl s přídavkem peroxidu vodíku H₂O₂. Do roztoku byly ponořeny dva druhy vzorků, jedny s řezem (70 mm dlouhý) a druhé bez řezu, s minimální vzdáleností 15 mm. Zkouška probíhala ve 3 cyklech, kdy každý trval 16 hodin, a vzorky byly po každém cyklu vyfotografovány. Pro každý cyklus byl aplikován nový čerstvý roztok.

Mezi cykly se vzorky oplachovaly destilovanou vodou a nechaly zavěšené 8 hodin volně na vzduchu. Kompletní fotodokumentace zrychlené ponorové zkoušky vzorků bez řezu viz příloha E a s řezem viz příloha F.



7.11.1 Složení roztoku

Destilovaná voda	1 l
Chlorid sodný /p.a./	50 g
Kyselina octová /100 % p.a./	10 ml
Peroxid vodíku /30 % p.a./	5 ml

7.11.2 Výsledky zrychlené ponorové zkoušky**Tab. 40** Vzorky plechu Standard bez řezu po 0 cyklech expozice v roztoku

Vzorky Standard bez řezu	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	



Tab. 41 Vzorky plechu Standard bez řezu po 3 cyklech expozice v roztoku

Vzorky Standard bez řezu	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	


Tab. 42 Vzorky plechu Standard s řezem po 0 cyklech expozice v roztoku

Vzorky Standard s řezem	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	



Tab. 43 Vzorky plechu Standard s řezem po 3 cyklech expozice v roztoku

Vzorky Standard s řezem	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	



Tab. 44 Otryskané vzorky bez řezu po 0 cyklech expozice v roztoku

Otryskané vzorky bez řezu	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	



Tab. 45 Otryskané vzorky bez řezu po 3 cyklech expozice v roztoku

Otryskané vzorky bez řezu	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	

Tab. 46 Otryskané vzorky s řezem po 0 cyklech expozice v roztoku

Otryskané vzorky s řezem	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	

Tab. 47 Otryskané vzorky s řezem po 3 cyklech expozice v roztoku

Otryskané vzorky s řezem	
s nátěrem „R“	s nátěrem „D“
	

Tab. 48 Vzorky válcované trubky bez řezu po 0 cyklech expozice v roztoku**Tab. 49** Vzorky válcované trubky bez řezu po 3 cyklech expozice v roztoku

Tab. 50 Vzorky válcované trubky s řezem po 0 cyklech expozice v roztoku**Tab. 51** Vzorky válcované trubky s řezem po 3 cyklech expozice v roztoku

Tab. 52 Hodnocení zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěrů proti podkorodování
(bez řezu) dle ČSN EN ISO 4628

Hodnocení zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěrů proti podkorodování (bez řezu)			
Označení vzorku	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézivění	Stupeň koroze/delaminace
0 cyklů expozice v roztoku			
„SR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„OR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„TR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„SD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„OD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„TD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
po 1. cyklu expozice v roztoku			
„SR“	4 (S3)	Ri 5 (S4)	-
„OR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„TR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„SD“	5 (S3)	Ri 0 (S0)	-
„OD“	4 (S2)	Ri 0 (S0)	-
„TD“	4 (S2)	Ri 0 (S0)	-
po 2. cyklu expozice v roztoku			
„SR“	5 (S4)	Ri 5 (S5)	-
„OR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	-
„TR“	3 (S2)	Ri 0 (S0)	-
„SD“	5 (S4)	Ri 0 (S0)	-
„OD“	5 (S3)	Ri 0 (S0)	-
„TD“	4 (S3)	Ri 0 (S0)	-
po 3. cyklu expozice v roztoku			
„SR“	5 (S5)	Ri 5 (S5)	-
„OR“	0 (S0)	Ri 5 (S3)	-
„TR“	3 (S3)	Ri 4 (S3)	-
„SD“	5 (S4)	Ri 0 (S0)	-
„OD“	5 (S3)	Ri 0 (S0)	-
„TD“	5 (S3)	Ri 4 (S3)	-

Tab. 53 Hodnocení zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěrů proti podkorodování
(s řezem) dle ČSN EN ISO 4628

Hodnocení zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěrů proti podkorodování (s řezem)			
Označení vzorku	Stupeň puchýřkování	Stupeň prorézivění	Stupeň koroze/delaminace
0 cyklů expozice v roztoku			
„SR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0
„OR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0
„TR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0
„SD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0
„OD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0
„TD“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	0/0
po 1. cyklu expozice v roztoku			
„SR“	3 (S3)	Ri 2 (S3)	2/2
„OR“	2 (S1)	Ri 3 (S2)	2/3
„TR“	0 (S0)	Ri 0 (S0)	1/0
„SD“	4 (S3)	Ri 5 (S3)	3/2
„OD“	4 (S1)	Ri 0 (S0)	1/0
„TD“	3 (S1)	Ri 4 (S2)	1/0
po 2. cyklu expozice v roztoku			
„SR“	4 (S4)	Ri 4 (S4)	3/3
„OR“	2 (S4)	Ri 4 (S3)	3/3
„TR“	4 (S3)	Ri 0 (S0)	2/2
„SD“	4 (S3)	Ri 2 (S2)	3/2
„OD“	5 (S2)	Ri 0 (S0)	1/0
„TD“	3 (S2)	Ri 4 (S2)	1/2
po 3. cyklu expozice v roztoku			
„SR“	5 (S5)	Ri 5 (S5)	5/4
„OR“	3 (S4)	Ri 4 (S4)	3/3
„TR“	4 (S3)	Ri 5 (S4)	2/2
„SD“	5 (S4)	Ri 3 (S2)	3/3
„OD“	5 (S3)	Ri 1 (S1)	1/0
„TD“	4 (S2)	Ri 5 (S3)	2/3

8 HODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

V této části jsou zpracována a vyhodnocena data do tabulek a grafů, z výše provedených zkoušek dle patřičných norem.

8.1 Hodnocení chemického rozboru povrchu vzorků

U každé ze tří sad vzorků byl povrch jinak upraven a tyto úpravy měli zásadní vliv na vlastnosti nanesené nátěrové hmoty. Důležitým aspektem pro hodnocení povrchu byl chemický rozbor povrchu vzorků. Tato analýza byla vytvořena pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu EDAX PHILIPS XL 30 (SEM mikroskopie).

Vzorky Standard se používají pro zkoušky nátěrových systémů, a proto jsou odmaštěné a očištěné. Dodávají se zabalené v inhibičním papíru, díky tomu neoxidují, na jejich povrchu se nachází pouze jeden prvek, a tím je železo. Z fotodokumentace povrchu je zase zřejmé, že při měření drsnosti můžeme očekávat odlišné výsledky v příčném a podélném směru.

Na otryskaném povrchu se vyskytoval v největší míře prvek Fe (81,6 %), pouze v malém množství prvky O, Si, Al, Mg a K. Povrch byl částečně zoxidovaný a vyskytovaly se na něm organické mastnoty a tuky, což ukazuje hodnota uhlíku. Po otryskání zbyla na povrchu zatryskaná zrna, která jsou dobře vidět ve fotodokumentaci (viz Obr. 37). Všechna tato znečištění mohou negativně ovlivnit přilnavost nátěrového systému a jeho degradaci.

Na povrchu za tepla válcovaných trubek se vyskytují prvky železa a kyslíku. Druhý zmiňovaný prvek může způsobit tvorbu oxidů, tím snížit přilnavost nátěrového systému k povrchu a také urychlit znehodnocení nátěru.

8.2 Hodnocení zaprášení povrchu vzorků

Prašnost u všech zkoušených vzorků byla hodnocena dle ČSN ISO 8502-3. U otryskaných povrchů a povrchů vzorku Standard bylo zaprášení i třída velikostí prachových částic klasifikována shodně stupněm 0. Odlišný výsledek byl jen v případě trubky. Trubka byla vyrobena technologií válcování za tepla a její povrch nebyl před zkouškou nijak očištěn ani upraven, a proto vykazovala větší hodnoty zaprášení. Na adhezní pásce ulpívala hustá vrstva

okují. Zaprášení bylo ohodnoceno u všech vzorků shodně nejvyšším stupněm 5 a velikosti částic třídou 2.

8.3 Hodnocení drsnosti povrchu vzorků

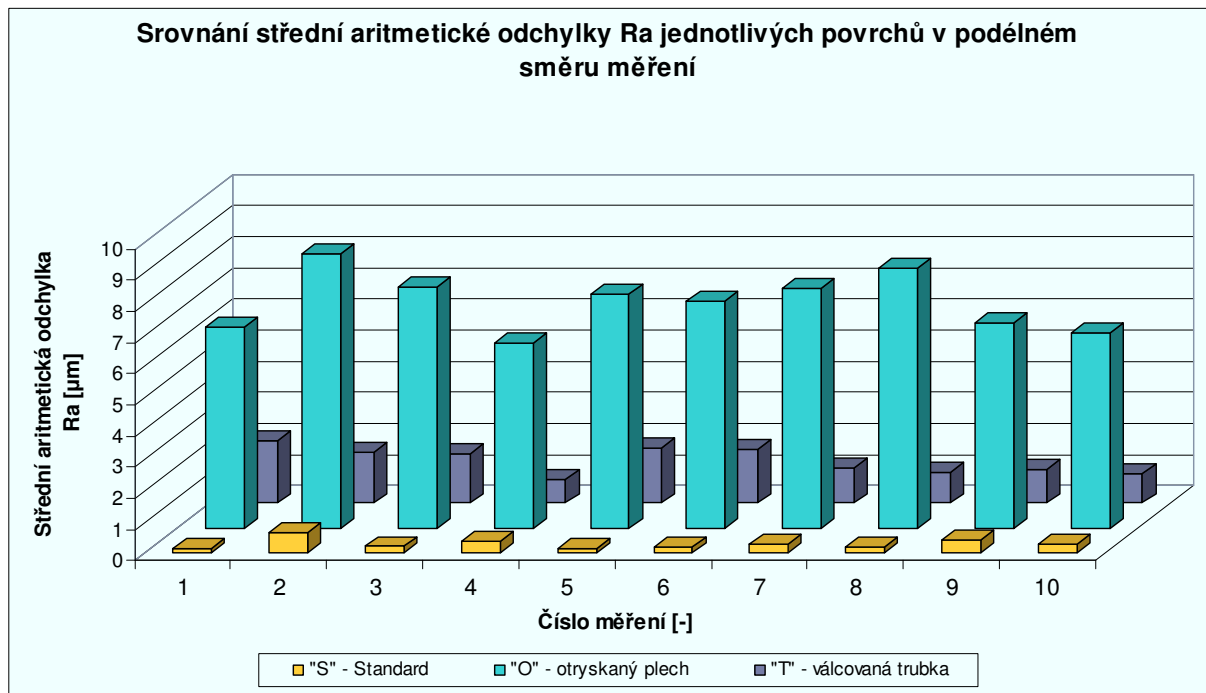
Z tabulek (viz Tab. 14 a Tab. 15) je patrné, že parametry drsnosti povrchu (R_a - střední aritmetická úchylka profilu [μm] a R_z - největší výška profilu [μm]) vzorku Standard se ve svých hodnotách v příčném $R_a = (0,92 \pm 0,46)\mu\text{m}$ $R_z = (6,86 \pm 0,62)\mu\text{m}$ a podélném $R_a = (0,29 \pm 0,17)\mu\text{m}$ $R_z = (1,85 \pm 0,86)\mu\text{m}$ směru měření výrazně liší. Je to dáno technologií broušením v jednom směru, jakou byl povrch před dodáním upraven. U parametru R_{sk} tomu není jinak a také tato hodnota je v obou směrech odlišná. Reliéf v příčném směru má více prohlubní, to dokazují nižší hodnoty než u střední výšky profilu a přesně naopak je tomu v podélném směru, kde se nachází více hodnot přesahujících střední výšku profilu. To může znamenat horší vyplnění takového členitého povrchu a zhoršení přilnavosti nátěrového systému. Velikost parametru špičatosti R_{ku} svědčí o tom, že povrch je v podélném i příčném směru ostřejšího charakteru.

U otryskaného povrchu mají parametry (R_a - střední aritmetická úchylka profilu [μm] a R_z - největší výška profilu [μm]) v příčném $R_a = (6,24 \pm 0,52)\mu\text{m}$ $R_z = (47,81 \pm 4,36)\mu\text{m}$ i podélném $R_a = (7,27 \pm 1)\mu\text{m}$ $R_z = (53,14 \pm 8,88)\mu\text{m}$ směru podobné hodnoty a je to dáno opět mechanickou úpravou povrchu. Na povrchu se podle parametru R_{sk} vyskytuje více míst s menší výškou profilu než je střední výška a to znamená více prohlubní, které mohou být hůře vyplněny nátěrovou hmotou. Stejně jako u broušeného materiálu jsou na povrchu rýhy a výstupky ostřejšího charakteru, což dokazují hodnoty R_{ku} .

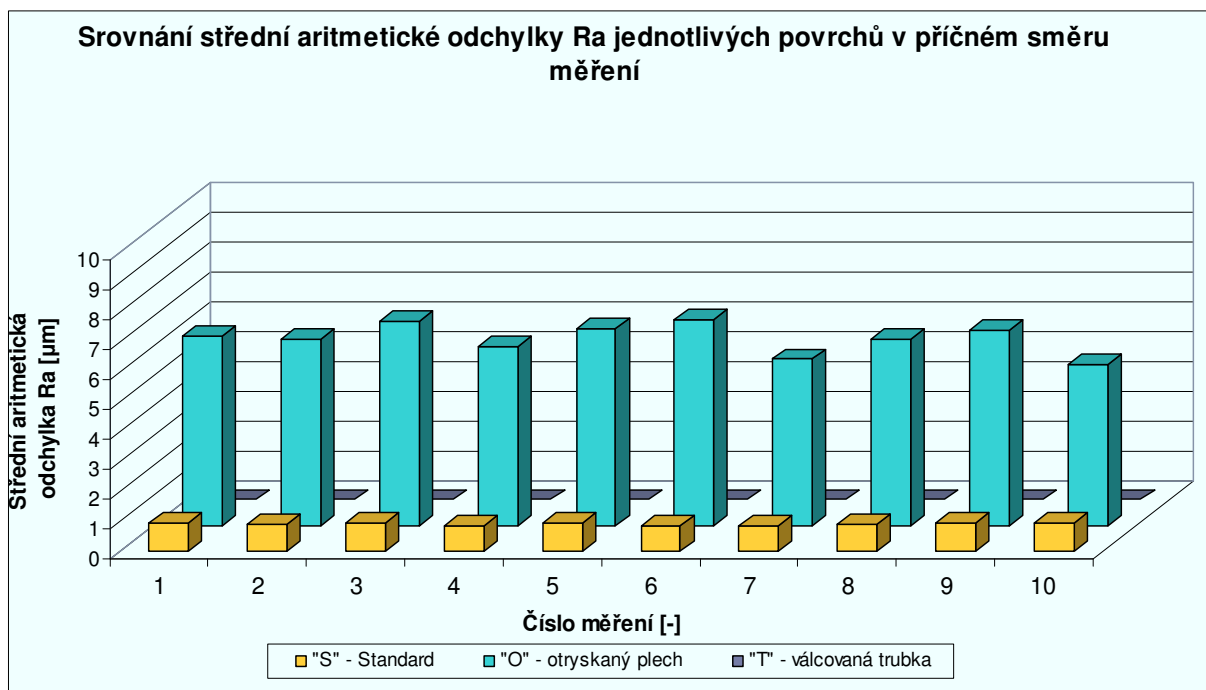
Pro malý průměr trubky se měření drsnosti provádělo jen v jednom směru, v podélném. Průměrná naměřená hodnota u parametru střední aritmetické úchylky profilu $R_a = (1,37 \pm 0,45)\mu\text{m}$ a největší výšky profilu $R_z = (8,48 \pm 2,29)\mu\text{m}$. Podle parametru šikmosti R_{sk} lze říci, že v podélném směru má povrch málo výstupků a tedy dobrou nosnost povrchu. Parametr R_{ku} byl vyšší než hraniční hodnota 3, povrch bude ostřejšího charakteru, ale kvůli jeho malé odchylce to nelze říct s určitostí.

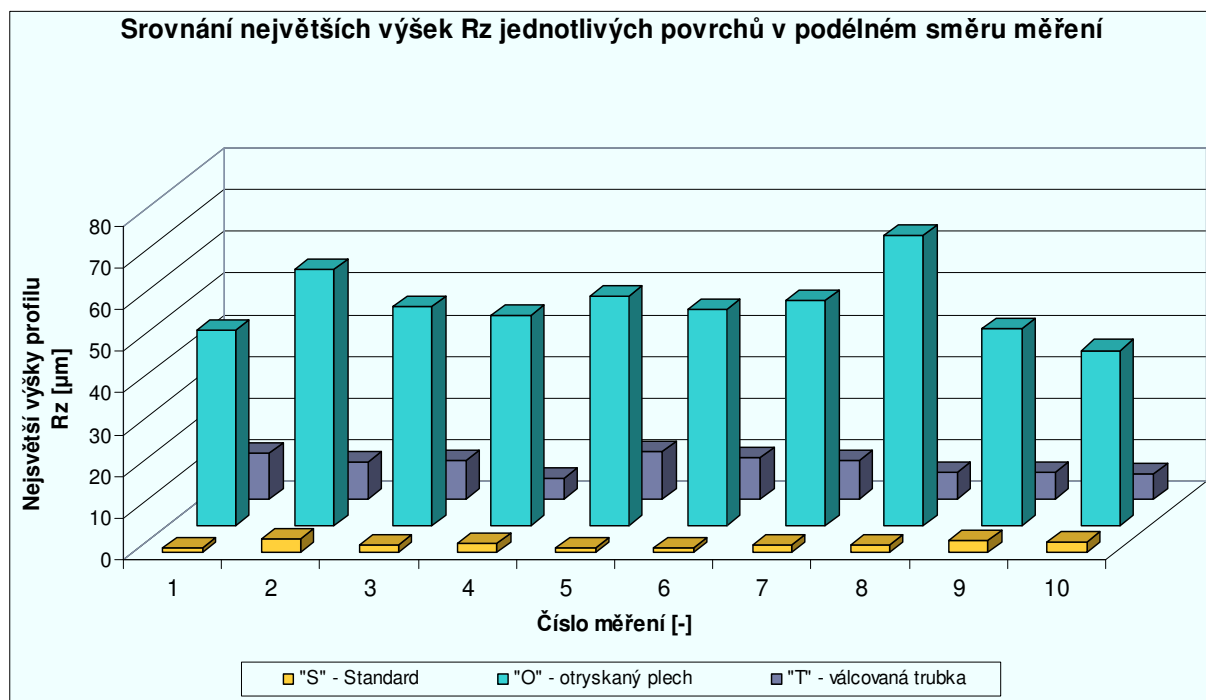
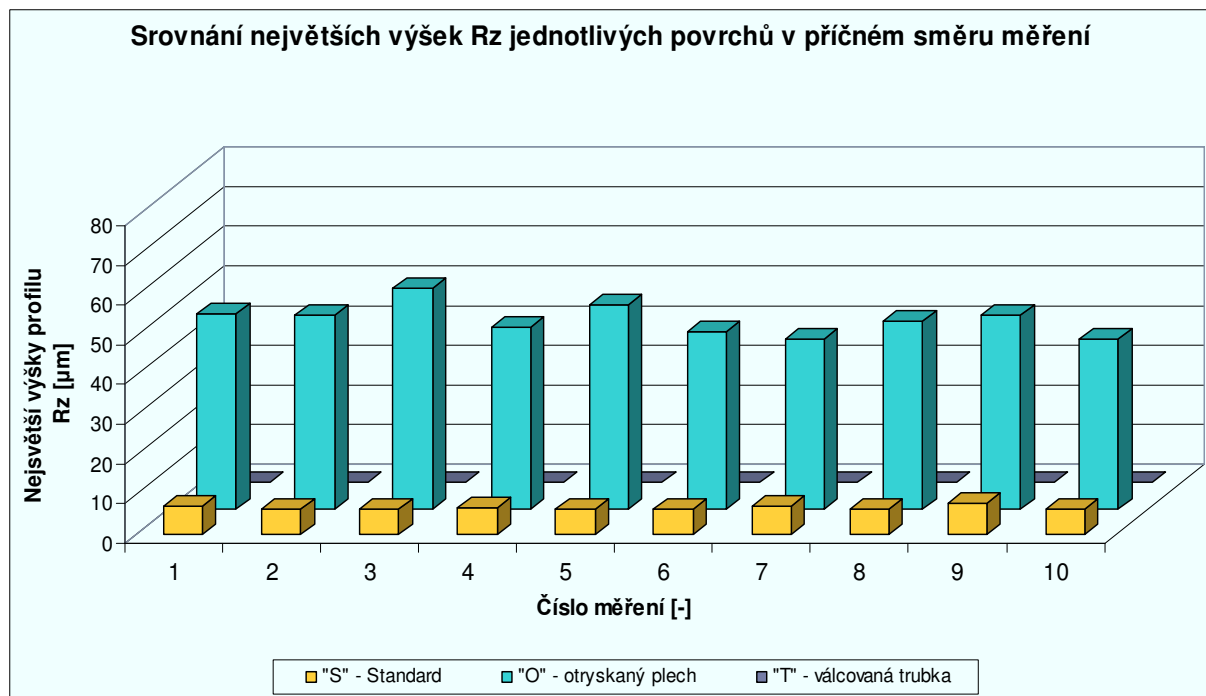
Pro větší přehlednost jsem zaznamenal do grafů naměřené (viz Graf 6 - Graf 9) i průměrné (viz Graf 10 a Graf 11) hodnoty parametru aritmetické odchylky R_a a největší výšky profilu R_z .

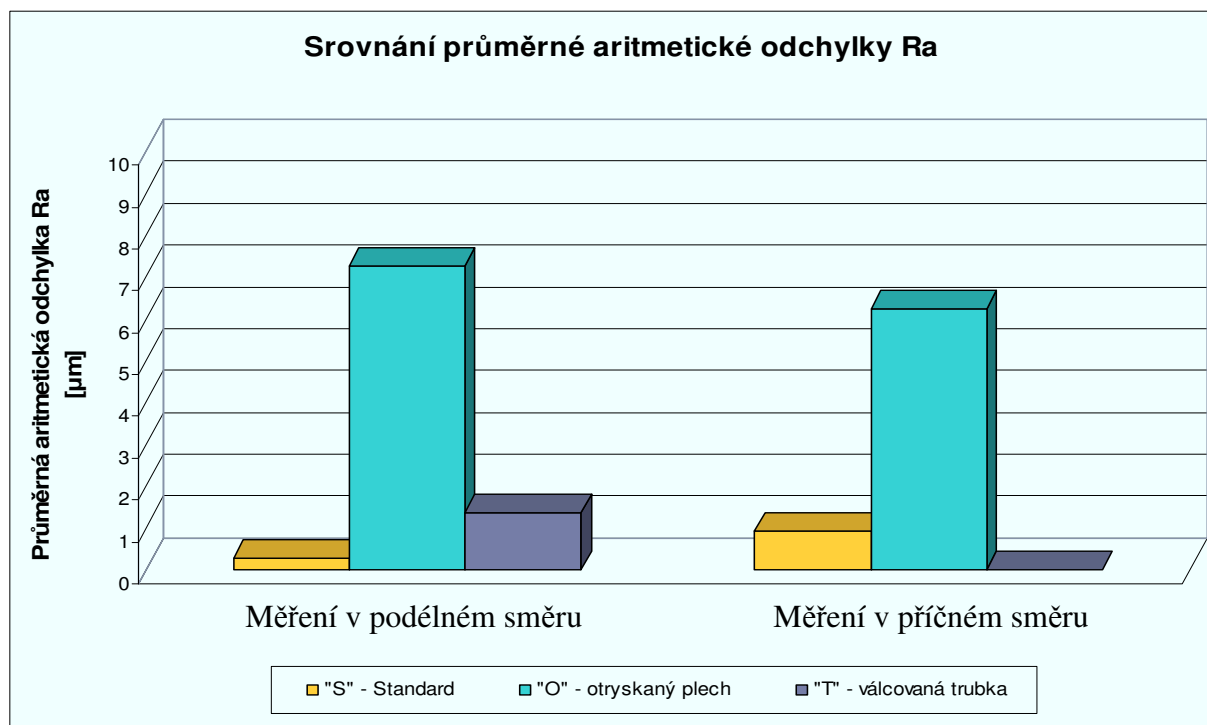
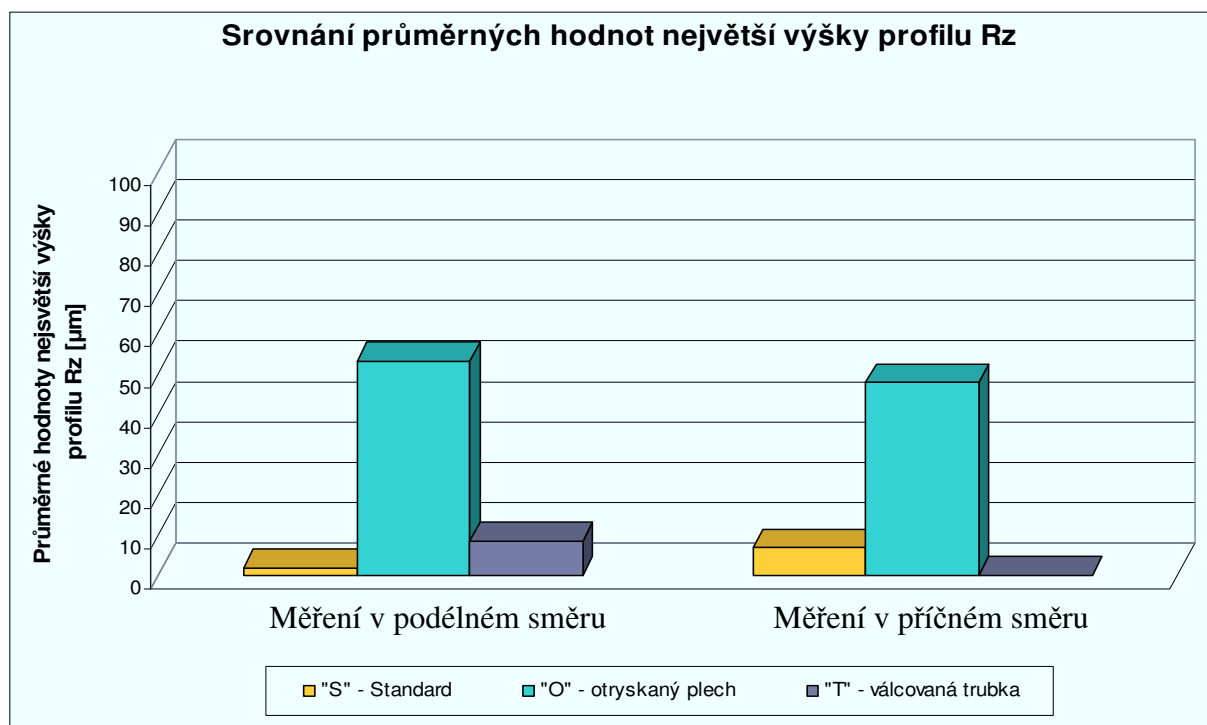
Graf 6 Srovnání střední aritmetické odchyly R_a jednotlivých povrchů v podélném směru měření



Graf 7 Srovnání střední aritmetické odchyly R_a jednotlivých povrchů v příčném směru měření



Graf 8 Srovnání největších výšek R_z jednotlivých povrchů v podélném směru měření**Graf 9** Srovnání největších výšek R_z jednotlivých povrchů v příčném směru měření

Graf 10 Srovnání průměrné aritmetické odchyly R_a jednotlivých povrchů**Graf 11** Srovnání průměrných největších výšek R_z jednotlivých povrchů

8.4 Hodnocení tloušťky suché vrstvy vzorků

Jak už bylo zmíněno dříve, na všechny druhy vzorků byla nátěrová hmota aplikována stejnou technologií a to pneumatickým stříkáním. Naměřené výsledky byly zapsány do tabulek a zprůměrnovány (viz Tab. 19 a Tab. 20). Z výsledků měření tloušťky suché vrstvy u vzorků Standard, trubek i otryskaných vzorků je patrné, že tloušťka mokré vrstvy byla splněna a díky ní byl nátěr vytvrzen na tyto rozměry. Výsledek této zkoušky je do značné míry ovlivněn úpravou a přilnavostí nátěrové hmoty k povrchu.

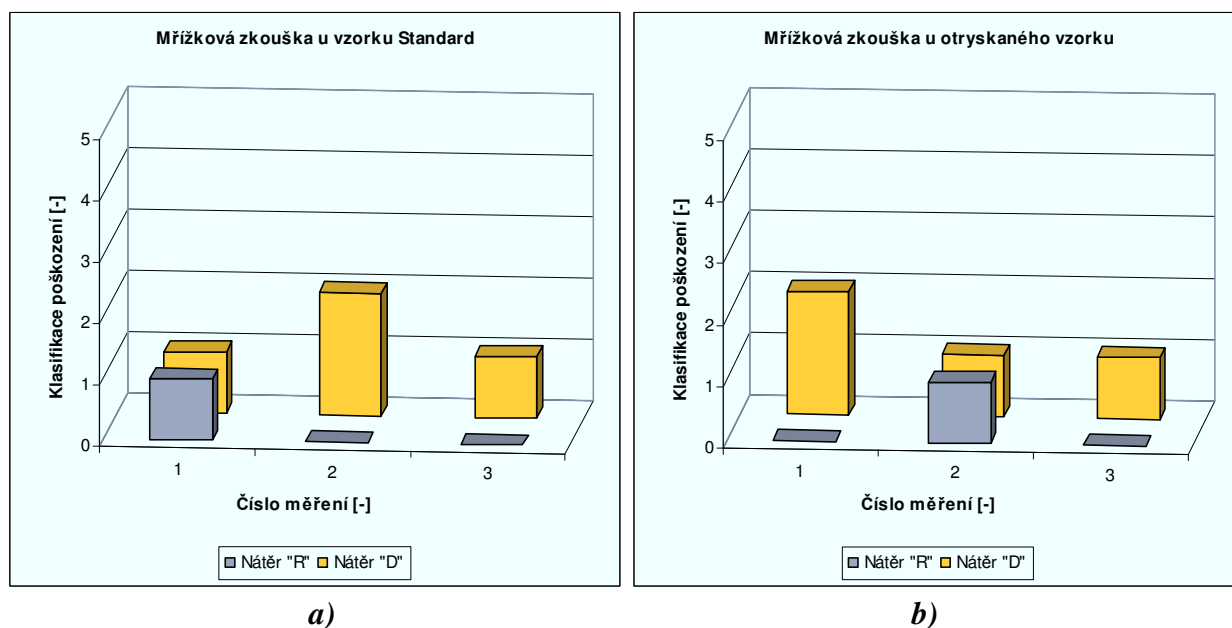
8.5 Hodnocení mřížkové zkoušky

Je to zkouška, která ukazuje odolnost povlaků nátěrových hmot k oddělení od podkladu. Z dosažených výsledků a hlavně grafů je patrné, že u vzorku Standard dopadly oba nátěrové systémy dobře. Ale přece jen měl lepší odolnost proti oddělení nátěr „R“. Hrany jeho mřížek jsou dokonce u dvou ze tří případů hladké bez známek jakéhokoliv poškození a tedy hodnoceny stupněm 0 a jeden hodnocen stupněm 1. Nátěr „D“ jevil jen malé známky poškození povlaku v místech zkřížení řezů nebo podél nich, proto je jeho hodnocení o něco horší.

U otryskaného povrchu vzorku byl výsledek podobný jako u vzorku Standard. Jak povlak „R“ tak i „D“ dopadly při této zkoušce dobře, jen s nepatrným rozdílem na tom byl lépe nátěrový systém „R“.

Na trubce nebylo možno provést tuto zkoušku z důvodu velmi malého průměru dodaných vzorků.

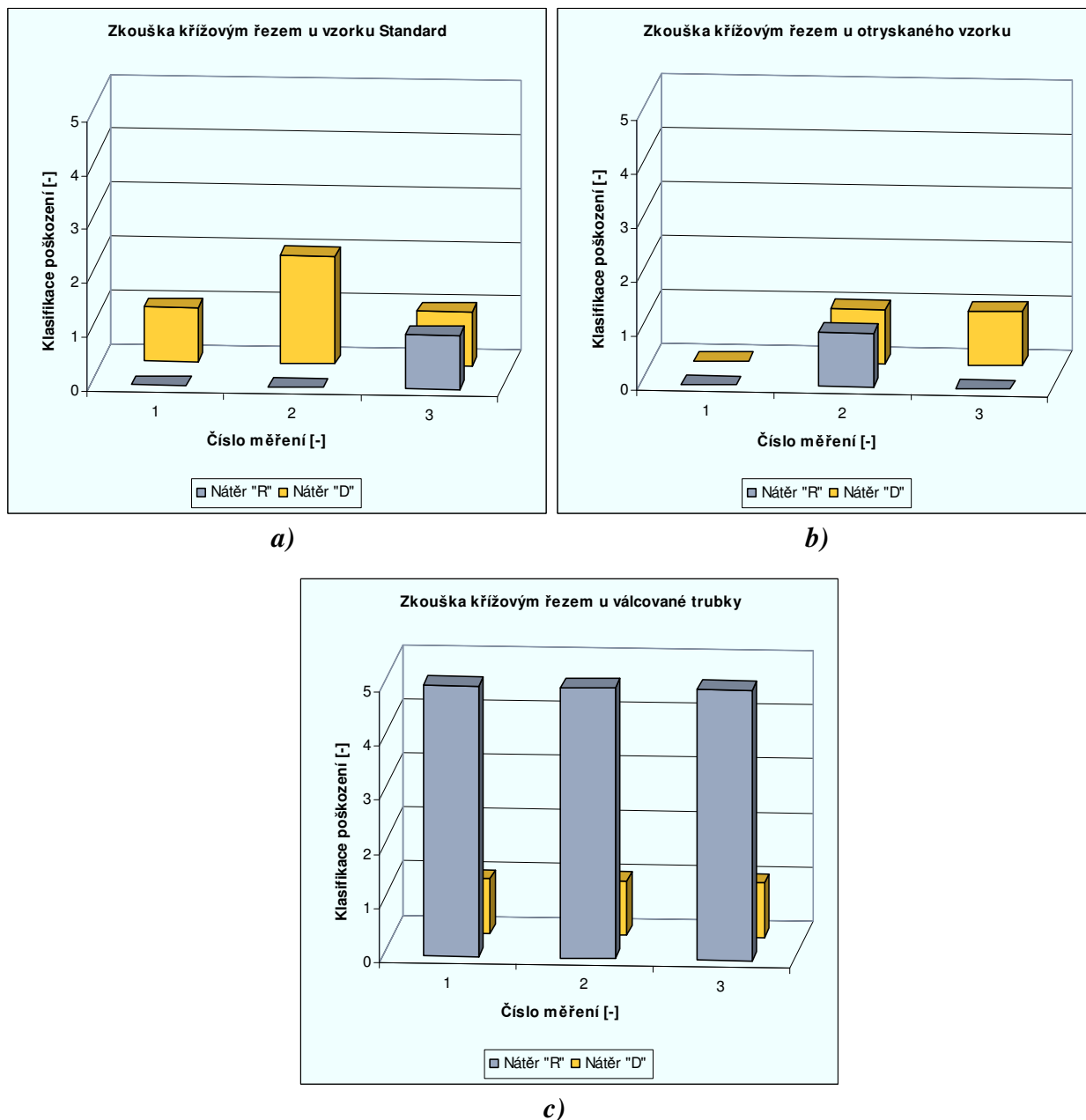
Graf 9 Vyhodnocení a porovnání mřížkové zkoušky nátěrových systémů a) u Standardu b) u otryskaného vzorku



8.6 Hodnocení zkoušky křížovým řezem

Z výsledků zkoušky křížovým řezem u vzorku Standard je zřejmé, že jak nátěrový systém „R“, tak i „D“ obstály dobře i když první zmiňovaný měl výsledky o něco lepší. Dva ze tří řezů dopadly výborně a byly klasifikovány stupněm poškození 0. U druhého otryskaného vzorku vyšla zkouška podobně, dokonce povlak „D“ měl ještě lepší výsledky, než na Standardu. Nátěry se neodlupovaly nebo neodpadaly, jen velmi málo, a to podél řezů nebo v jejich průsečíku. U třetího podkladového vzorku, kterým byla válcovaná trubka, je viditelný největší rozdíl mezi aplikovanými systémy. Oproti povrchu otryskaného vzorku a vzorku Standard vyšel lépe nátěrový systém „D“, který byl hodnocen u všech shodně, stupněm poškození 1. Za to povlak „R“ se odlupoval nejen v křížovém řezu, ale také mimo něj, a proto byl klasifikovaný stupněm 5 ve všech případech.

Graf 10 Vyhodnocení a porovnání zkoušky křížovým řezem nátěrových systémů a) u vzorku Standard b) u otryskaného vzorku c) u válcované trubky



8.7 Hodnocení korozní zkoušky v umělých atmosférách

Jakmile byla provedena korozní zkouška v umělých atmosférách, byl u vzorků po jednotlivých expozicích hodnocen stupeň koroze a puchýřkování nátěrového systému, případně u řezů ještě delaminace a korozní napadení. U zkoušky, ať už s řezem nebo bez něj, jde dobře vidět jak moc záleží na povrchu podkladového vzorku a jak velké jsou rozdíly mezi oběma nátěrovými systémy.

8.7.1 Hodnocení korozní zkoušky v umělých atmosférách po 48 hodinách (bez řezu)

Při hodnocení zkoušky bez řezu u vzorku Standard je jasný rozdíl vidět už po pouhých 8 hodinách, kdy začal nátěr „D“ vykazovat první známky znehodnocení. Zatímco u druhého nátěrového systému „R“ se začalo znehodnocení projevovat nejdříve po 24 hodinách expozice.

U otryskaného podkladového materiálu jsou výsledky zkoušky nátěrových systémů velmi podobné. Opět začal povlak „D“ vykazovat známky korozního napadení a puchýřkování už po 8 hodinách.

Veliký rozdíl nastal při expozici bezešvých válcovaných trubek za tepla, kdy nátěr označený písmenem „D“ vydržel bez známek korozního napadení nebo puchýřkování celých 48 hodin v korozní komoře. Druhý nátěr na tom nebyl taky vůbec špatně, první projevy znehodnocení nastaly až při poslední expozici a to jen v malé míře.

8.7.2 Hodnocení korozní zkoušky v umělých atmosférách po 48 hodinách (s řezem)

U klasifikace znehodnocení nátěrových systémů u vzorků s řezem se dospělo k podobným závěrům, jako v předchozím hodnocení bez řezu. Nátěrový systém „R“ měl oproti „D“ lepší výsledky na otryskaném povrchu i na povrchu vzorku Standard, kdy se degradace začala ukazovat až po 48 hodinách, na rozdíl od „D“, kdy nastala už po 8 hodinách expozice v korozní komoře. Expozice vzorků válcovaných trubek v korozní komoře ukázala podobné výsledky obou nátěrových systémů, ale přece jen o něco lépe dopadl nátěr „D“, u něj začalo mírné puchýřkování po 24 hodinách a korozní napadení dokonce až po 48 hodinách expozice.

8.8 Hodnocení zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěrů proti podkorodování

Jak bylo zmíněno už před tím, tato zkouška spočívá ve vystavení zkušebních vzorků působení okyseleného roztoku. Po provedení zrychlené ponorové zkoušky odolnosti nátěrů proti podkorodování byla po jednotlivých cyklech u vzorků hodnocena degradace nátěru, u vzorků z řezem navíc ještě delaminace a jeho korozní napadení.

8.8.1 Hodnocení zrychlené ponorové zkoušky po 3 cyklech (bez řezu)

Rozdíly v hodnocení zrychlené ponorové zkoušky nátěrových systémů „R“ a „D“ u vzorku Standard bez řezu se ukázaly už po 1. cyklu expozice v roztoku. Kdy nátěr „R“ vykazoval vysoký stupeň puchýřkování i koroze. Druhý povlak byl sice bez koroze, ale objevily se na něm puchýřky, které zabíraly velkou část povrchu. Vystavení vzorků dalším cyklům přineslo u nátěru „R“ značné změny. Po posledním cyklu byl klasifikován nejhoršími stupni koroze i puchýřkování. Oproti tomu nátěr „D“ nevykazoval velké změny ani po třetím cyklu, kdy se rozšířily a zvětšily puchýřky, ale ke koroznímu napadení stále nedošlo.

Otryskaný povrch dopadl oproti Standardu u obou nátěrů lépe. U nátěru „D“ se opět neukázaly známky koroze ani po třetím cyklu a puchýřky byly o poznání menší. Povlak „R“ zase naopak nevykazoval žádné příznaky puchýřkování, ale po posledním cyklu se ukázala koroze na velké části exponovaného povrchu.

Na válcované trubce byl mezi nátěry nejmenší znatelný rozdíl. Na obou nátěrech se nejdříve objevily puchýřky, u nátěru „D“ už po prvním cyklu, u „R“ po druhém. Ale po třetím cyklu vypadali vzorky podobně a projevílo se u nich ve značné míře jak korozní napadení, tak i puchýřky.

8.8.2 Hodnocení zrychlené ponorové zkoušky po 3 cyklech (s řezem)

Nátěrový systém „R“ na vzorku Standard byl po třetím cyklu značně zdegradovaný hlavně v okolí řezu, kde se začal dokonce odlupovat. Na povrchu vzorku s nátěrem „D“ nebyly ani po poslední expozici vidět známky korozního napadení, kromě části řezu, ale objevily se opět ve velkém rozsahu puchýřky.

Otryskaný podklad vykazoval u nátěrového systému „R“ v okolí řezu už po prvním vystavení v roztoku velké změny. V řezu se nacházela koroze i delaminace a v jeho okolí se začínaly objevovat puchýřky a koroze. Na místo toho nátěr „D“ měl dobrou odolnost proti vzniku koroze po celou dobu expozice, kdy se jen v malé míře objevila v řezu. Puchýřky se ale objevily ve velkém množství už po prvním cyklu na většině exponované části.

Vzorky válcované trubky nyní ukázaly trochu znatelnější rozdíly mezi nátěrovými systémy než u vzorků bez řezu. Nátěr „R“ vykazoval první výskyt puchýřků po 2 cyklu a korozní napadení dokonce až po posledním. U druhého povlaku vznikly puchýřky i koroze dříve a to hned po prvním cyklu. Klasifikace třetího cyklu byla podobná, povrch obou vzorků byl pokryt puchýřky i korozními produkty.

9 ZÁVĚR

Teoretická část diplomové práce je zaměřena na strukturu povrchu ocelového substrátu a jeho vlastnosti. Také předběžnými úpravami, hlavně otryskáváním a broušením, dále výrobou materiálů hutní produkce válcováním za tepla. Rozdělení a složení nátěrových hmot, potom je zde podrobněji popsán antikorozní pigment fosforečnanu zinečnatého a obecně téma týkající se nanopovlaků.

Experimentální část diplomové práce se zabývá studiem a hodnocením dvou rozdílných nátěrových systémů aplikovaných na různé typy podkladů, kterými byly otryskaný plech KOSMALT – E 300T, standardní broušený kovový panel Q-LAB CORPORATION a za tepla válcovaná trubka. První použitý nátěrový systém byl transparentní nátěr na bázi akrylátu obsahující inhibitory koroze a antikorozní pigmenty značen písmenem „R“ a druhým byla transparentní vodouředitelná nátěrová hmota na bázi alkydové pryskyřice označena písmenem „D“. Oba nátěrové systémy byly navrženy pro krátkodobou ochranu, která byla v tomto případě stanovena zhruba na 3- 6 měsíců.

Už při chemické analýze povrchu se ukázaly značné difference mezi jednotlivými sadami vzorků. Standard kovový panel byl bez nečistot. Otryskaný povrch vykazoval velké znečištění prvky C, O, Si, Al, Mg, K a navíc na povrchu zbyla zrna otryskávacího média. Toto všechno může zapříčinit horší přilnavost nátěrových systémů. Na válcované trubce za tepla se vyskytovalo velké množství prvku O. Ten podporuje vznik oxidace, která může mít vliv na adhezi povlaku a může urychlit jeho degradaci vlivem počínajícího korozního napadení.

Při měření drsnosti na povrchu vzorku Standard a trubky v podélném směru byly parametry drsnosti Ra a Rz velmi malé oproti otryskanému plechu, kde jejich hodnota byla až několikanásobně vyšší. To může negativně ovlivnit množství použité nátěrové hmoty nebo pokrytí nejvyšších vrcholů. Jestliže se nepodaří tyto vrcholky pokrýt nátěrovou hmotou, bude na nich rychleji probíhat koroze, která po delší době může způsobit degradaci povlaku nebo přímo podkladového materiálu.

Oba aplikované nátěrové systémy byly nejdříve podrobeny mřížkové zkoušce a zkoušce křížovým řezem. Při všech pokusech vyšel lépe nátěrový systém „R“ až na jeden typ povrchu, na válcovanou trubku za tepla, kde dopadl o poznání lépe nátěr „D“. Nátěrový systém mohl mít horší výsledek u válcovaných trubek kvůli kratší době vytvrzování.

Vzorky byly také podrobeny korozní zkoušce v prostředí solné mlhy. Obecně lze říci, že oba nátěrové systémy dopadly v prostředí solné mlhy podobně, ať už vzorky bez řezu nebo s ním. Nejlepšího hodnocení bez řezu dosahovaly jednoznačně nátěrové systémy aplikované na válcovaných trubkách. S řezem měly nátěrové systémy také podobné výsledky a zase se potvrdilo, že jedny z nejlepších výsledků měly na povrchu válcované trubky i když povlak „D“ dopadl nepatrně lépe. Komplexně vzato na trubkách dosahovaly nátěrové systémy větší korozní odolnosti. To bylo pravděpodobně způsobeno přehřevem vzorků na 40°C. Voda obsažená v nátěrové hmotě se stihla už v určitém množství vypařit a nezpůsobila po nanesení tzv. bleskovou korozi, která značně ovlivňuje pozdější degradaci nátěrového systému i samotného podkladového materiálu.

Další zkouškou, kterou vzorky prošly, byla zrychlená ponorová zkouška odolnosti povlaků proti podkorodování. Prostředí, ve kterém byly vzorky umístěny po dobu expozice, je agresivnější než-li prostředí solné mlhy, a proto se na to musí brát ohled při závěrečném hodnocení a srovnání.

Závěrem bych si dovolil říci, že oba experimentální nátěrové systémy jsou vhodné pro krátkodobou protikorozní ochranu materiálů hutní produkce. Z ekonomického hlediska je ale přijatelnější, díky své kratší době vytvrzování, nátěrový systém „R“ dodaný ve spolupráci s Ruskou federací.

**Diplomová práce byla zpracována za podpory projektu MŠMT KONTAKT
ME 08083.**



10 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I*. 1. vyd., Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1994. 76 s. ISBN 80-7078-235-8
- [2] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav*. 3.vyd., Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 156 s. ISBN 80-248-1217-7
- [3] FIALA, Jaroslav; KRAUS, Ivo. *Povrchy a rozhraní*. 1. vyd., Praha: ČVUT, 2009. 299 s. ISBN 978-80-01-04248-9
- [4] BOTHE, Otakar. *Strojírenská technologie II.: pro strojírenské studijní obory*. 1. vyd., Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1980. 164 s. ISBN 04-223-80
- [5] HLUCHÝ, Miroslav; KOLOUCH, Jan. *Strojírenská technologie I. 1. díl: Nauka o materiálu*. 3. vyd., Praha: Scientia, spol s.r.o., 2002. 266s. ISBN 80-7183-262-6
- [6] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 1.vyd., Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1987. 251 s. II-215900-2383/94
- [7] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd., Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. 216 s. ISBN 80-7082-668-1
- [8] LENFELD, Petr. *Technologie II - 1. část, tváření kovů* [online]. Liberec: TU Liberec, 2005 – [cit. 16.února 2012], 110 s. Dostupné na WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/02.htm>. ISBN 80-7372-020-5.
- [9] KUBÁTOVÁ Hana a kolektiv. *Nátěry kovů*. 1. vyd., Grada Publishing, spol. s. r.o. Praha, 2000. 104 s. ISBN 80-247-9035-1.



- [10] EPSTEIN AK.; POKROY B.; SEMINARA A.; AIZENBERG J. Bacterial biofilm shows persistent resistance to liquid wetting and gas penetration. 2011 - [cit. 17. únor 2012].
Dostupné na WWW:<<http://ittakes30.wordpress.com/2011/01/25/teflonbacteria/>>.
- [11] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Komplexní systém krátkodobé a dlouhodobé antikoroze ochrany materiálů hutní produkce*. Program Kontakt. Ostrava: 2008. 89s. číslo projektu ME08083
- [12] KUDLÁČEK, Jan; BUREŠ, Jiří; VÁLOVÁ, Marie; KREIBICH, Viktor. *Problematika předúprav povrchu – část 1*. Povrchová úprava [online]. březen 2007 - [cit. 17. února 2012]. roč. 10, č. 3, s. 15. ISSN 1801-707X.
Dostupné na WWW:<<http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2007-03.pdf>>.
- [13] KUDLÁČEK, Jan; BUREŠ, Jiří; VÁLOVÁ, Marie; KREIBICH, Viktor. *Problematika předúprav povrchu – část 2*. Povrchová úprava [online]. červenec 2007 - [cit. 17. února 2012]. roč. 10, č. 7, s. 9. ISSN 1801-707X
Dostupné na WWW: <<http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2007-07.pdf>>.
- [14] KALEDOVÁ, Andrea; RAŠKOVÁ, Kateřina; ANTOŠ, Petr; VESELÝ, David; POHL, David. *Pigmenty a plniva pro úpravu antikoročních vlastností nátěrových hmot*. CHEMagazín, 2005, roč. 15, č. 1, s. 24-27. ISSN 1210-7409.
- [15] JIRÁSEK, Jakub; Vavro, Martin. *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008 - [cit. 17. února 2012]. ISBN 978-80-248-1378-3
Dostupné na WWW: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/pigmenty_barviva.html>.

- [16] JAŠKOVÁ, Veronika; VESELÝ, David; KALEDOVÁ, Andrea. *Antikorozní vlastnosti nátěrových hmot s obsahem pigmentů na bázi modifikovaných fosforečnanů*. Chemické listy [online]. červen 2010 – [cit. 17. února 2012]. roč. 104, č. 6, s. 517. ISSN 1213-7103
Dostupné na WWW: <http://chemicke-listy.cz/docs/full/2010_06_511-536.pdf>.
- [17] KOLLEROVÁ, Mária; ŽÍDEK, Milan; POČTA, Bohumil; DĚDEK, Vladimír. *Válcovanie*. 1. vyd., Bratislava: Alfa, 1991. 576 s. ISBN 80-05-00729-9
- [18] MAKHLOUF, Abdel S. H.; TIGINYANU, Ion. *Nanocoatings and ultra-thin films - Technologies and applications*. Philadelphia: Woodhead Publishing Limited, 2011. 448 s. ISBN 978-1-84569-812-6
- [19] Novák, M; Holešovský, F. *Studium integrity broušeného povrchu. 9. Mezinárodní vědecká konference, Nové smery vo výrobných technológiách 2008..* Prešov, Slovenská republika, 19. -21. Jún. Prešov: Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity v Košiciach so sídlom v Prešove, 2008 s. 11 – 13. ISBN 978-80-553-0044-3.
Dostupné na WWW: <<http://web.tuke.sk/fvtpo/journal/pdf08/2-str11-13.pdf>>
[cit. 25. února 2012].
- [20] ÁBEL, Milan; BREZINOVÁ, Janette; DRAGANOVSKÁ, Dagmar. *Vlastnosti povrchu predupraveného tryskaním*. Transfer inovaci [online]. červen 2003 – [cit. 17. února 2012]. roč. 6, č. 6, s. 215. ISSN 1337-7094.
Dostupné na WWW: <<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/6-2003/pdf/84-87.pdf>> [cit. 25. února 2012].
- [21] ELCOCK, D. *Potential Impacts of Nanotechnology on Energy Transmission Applications and Needs*. ANL/EVS/TM/08-3, prepared by Enviromental Science Division, Argone National Laboratory, November 2007, s. 26. [cit. 25. února 2012].
Dostupné na WWW: <http://corridoreis.anl.gov/documents/docs/technical/APT_60861_EVS_TM_08_3.pdf>.



- [22] *Vlastnosti pigmentů – teoretická část.*
Dostupné na WWW: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_vlastnosti_pigmentu/teorie.htm [cit. 4. března 2012].
- [23] *Petrhometer – Parametry (drsnosti) povrchu.*
Dostupné na WWW: [http://www.zeiss.sk/C12571AF002D4699/EmbedTitelIntern/Prospekt_Drsnost/\\$File/drsnost.pdf](http://www.zeiss.sk/C12571AF002D4699/EmbedTitelIntern/Prospekt_Drsnost/$File/drsnost.pdf) [cit. 4. března 2012].
- [24] *Drsnost povrchu.*
Dostupné na WWW: <http://wwwold.tf.czu.cz/scripta/ST2-2.pdf>
[cit. 4. března 2012].
- [25] *Drsnost povrchu dle DIN EN ISO.*
Dostupné na WWW: http://www.hommel-etamic.cz/cz/techinfo_01.htm
[cit. 4. března 2012].
- [26] *What is corona treatment and how it works!*
Dostupné na WWW: <http://tantec.com/Corona-and-Plasma-Treatmentproducts/Corona Treatment/what-is-corona-treatment-and-how-it-works.html> [cit. 4. března 2012].
- [27] OBEŠLOVÁ, Viera. *Broušení.*
Dostupné na WWW: http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Brou%C5%A1en%C3%AD.pdf [cit. 4. března 2012].
- [28] KUDLÁČEK, Ivan. *Organické povlaky.*
Dostupné na WWW: http://martin.feld.cvut.cz/~kudlacek/ETP/_orgpovlaky.pdf
[cit. 4. března 2012].
- [29] MENKE, Joseph T. *Zinc phosphate.*
Dostupné na WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Zinc_phosphate
[cit. 4. března 2012].

- [30] *Zinc phosphate.*
Dostupné na WWW: <http://www.marathwadachemicals.com/zinc_phosphate.html>
[cit. 4. března 2012].
- [31] *Phosphate Anti-rust Pigment-Zinc Phosphate.*
Dostupné na WWW: <<http://noelson.com/en/phosphate-anti-rust-pigment-zinc-phosphate.html>> [cit. 25. února 2012].
- [32] *Zinc phosphate.*
Dostupné na WWW: <<http://www.paintsrawmaterials.com/zinc-phosphate.html>>
[cit. 25. února 2012].
- [33] *Surface roughness.*
Dostupné na WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Surface_roughness>
[cit. 25. února 2012].
- [34] *Válcování kovů.*
Dostupné na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lcov%C3%A1n%C3%AD_kov%C5%AF> [cit. 25. února 2012].
- [35] *Nanocoatings for Boiler Waterwalls.*
Dostupné na WWW: <<http://ebookbrowse.com/nanocoatings-for-boiler-waterwalls-3-doc-d47640337>> [cit. 25. února 2012].
- [36] *List of nanotechnology applications.*
Dostupné na WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nanotechnology_applications>
[cit. 25. února 2012].
- [37] *Nano producer – innovative and international.*
Dostupné na WWW: <<http://www.nano-product.co.uk/>> [cit. 25. února 2012].

- [38] *Protect with Nano Metal Coating.*
Dostupné na WWW: <<http://www.protectwithnano.com/coatings/metal-coating.html>>
[cit. 25. února 2012].
- [39] *Archive for category nanotechnology.*
Dostupné na WWW: <<http://nanogloss.com/category/nanotechnology/#axzz1nUIyTou3>> [cit. 25. února 2012].
- [40] *TruNano Metal Amor.*
Dostupné na WWW: <http://www.protectwithnano.com/files/metalcoat/DataSht_MetalArmor_080111.pdf> [cit. 25. února 2012].
- [41] *TruNano Metal Amor – Materiál safety data sheet.* Evolution Surface Solutions. Utah. June 14, 2010. s. 4.
Dostupné na WWW: <<http://www.protectwithnano.com/files/metalcoat/TruNano%20Metal%20Armor%20MSDS%20060111.pdf>> [cit. 25. února 2012].
- [42] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Komplexní systém krátkodobé a dlouhodobé antikorozi ochrany materiálů hutní produkce.* Program Kontakt. Ostrava: 2008. 89s. číslo projektu ME08083

Normy:

- [43] ČSN ISO 8502-3 – *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu – Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání lepicí páskou).* Český normalizační institut, 1996
- [44] ČSN EN ISO 4287 – *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu.* Český normalizační institut, 1999
- [45] ČSN EN ISO 4628-1 – *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu – Část 1: Obecný úvod a systém klasifikace.* Český normalizační institut, 2004

- [46] ČSN EN ISO 4628-2 – *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování*. Český normalizační institut, 2004
- [47] ČSN EN ISO 4628-3 – *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu – Část 3: Hodnocení stupně prerezavění*. Český normalizační institut, 2004
- [48] ČSN EN ISO 4628-8 – *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu*. Český normalizační institut, 2005
- [49] ČSN EN ISO 2409 – *Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška*. Český normalizační institut, 2007
- [50] ČSN EN ISO 2808 – *Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru*. Český normalizační institut, 2007
- [51] ČSN EN ISO 9227 – *Korozní zkouška v umělých atmosférách – Zkouška solnou mlhou*. Český normalizační institut, 2007
- [52] ČSN EN ISO 16276-2 *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížkový řez*. Český normalizační institut, 2008

Obrázky:

- [53] *Drsnost povrchu* [74]
URL: <http://www.hommel-etamic.cz/cz/images/10_01_velky.gif>
[cit. 25. února 2012].
- [54] *Otryskávání* [92]
URL: <http://www.blastmaster.com.au/images/stories/catalogue_images/p27_pic_5F.jpg> [cit. 25. února 2012].

- [55] *Druhy otryskávacích materiálů sklářský písek [83]*
URL: <http://www.truck-p.com/Upload/Customers/Truck-P_com/CustomUpload/Obrazky/nahledy/pisek3.jpg> [cit. 25. února 2012].
- [56] *Druhy otryskávacích materiálů litinová drť [85]*
URL: <<http://www.idda.cz/img/velke/lidrtv.jpg>> [cit. 25. února 2012].
- [57] *Druhy otryskávacích materiálů sekaný drát [86]*
URL: <<http://www.idda.cz/img/velke/dratv.jpg>> [cit. 25. února 2012].
- [58] *Druhy otryskávacích materiálů umělý korund [87]*
URL: <http://image.ec21.com/image/dzx1943/OF0010263484_1/Sell_Artificial_Corundum.jpg> [cit. 25. února 2012].
- [59] *Druhy otryskávacích materiálů balotina [89]*
URL: <http://www.sklenene-kulicky.cz/katalog-zbozi/balotina-tf-7_2-208/> [cit. 25. února 2012].
- [60] *Druhy otryskávacích materiálů drť z pecek [88]*
URL: <<http://www.abrasiv.cz/editor/filestore/Image/Drcene%20orechove%20skorapky.jpg>> [cit. 25. února 2012].
- [61] *Zařízení pro otryskávání injektorový tryskač [93]*
URL: <http://www.isaf.tu-clausthal.de/uploads/RTEmagicC_Band_engl.jpg.jpg> [cit. 25. února 2012].
- [62] *Zařízení pro otryskávání otryskávací zařízení s mechanismem metacího kola [7]*
URL: <http://avalaniengg.com/ava_img_15022010/avalani11/blast-machine.jpg> [cit. 25. února 2012].
- [63] *Druhy brusných tělísek [39]*
URL: <http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/51666923/Sand_Paper_Grinding_Wheel_Abrasive_Cloth_Roll.jpg> [cit. 25. února 2012].

- [64] *Válcování [59]*
URL: <http://www.samkimc.co.kr/bbs/data/file/01/3547592506_QsCpYIjx_PIERCIN_G%2BPHPTO%2B2.jpg> [cit. 25. února 2012].
- [65] *Válcování bezešvých trubek [116]*
URL: <http://www.ovako.com/PageFiles/3166/Hofors_Tube_1500295_high.jpg> [cit. 25. února 2012].
- [66] *Válcování bezešvých trubek [108]*
URL: <http://www.sms-meer.com/uploads/pics/03_1_7_Nahtlos_Schraegw_01.jpg> [cit. 25. února 2012].
- [67] *Chemické složení Fosforečnanu zinečnatého $Zn_3(PO_4)_2$ [75]*
URL: <<http://www.chemicalbook.com/CAS%5CGIF%5C7543-51-3.gif>> [cit. 25. února 2012].
- [68] *Fosforečnan zinečnatý ve formě prášku [67]*
URL: <http://img.tootoo.com/mytootoo/upload/50/504313/product/504313_fccc335e2d33a149505288fbdefa38aa.jpg> [cit. 25. února 2012].
- [69] *Krystal fosforečnanu zinečnatého zvětšení 500x [02]*
URL: <<http://d2n4wb9orp1vta.cloudfront.net/resources/images/cdn/cms/PFD-Hickman---heavy-zinc-phosphate-crystal.jpg>> [cit. 25. února 2012].
- [70] *Schéma ochrany povrchu [118]*
URL: <http://c575889.r89.cf2.rackcdn.com/wp-content/uploads/2012/02/nano_coating_figure.png> [cit. 25. února 2012].
- [71] *Použití nanopovlaků solární panely [125]*
URL: <<http://www.mtu.edu/news/images/2011/image57348-horiz.jpg>> [cit. 25. února 2012].



[72] *Použití nanopovlaků objektiv [126]*

URL: <<http://cdn.cameradebate.com/wp-content/uploads/2011/08/panasonic-x-14-42mm-pancake-lens.jpg>> [cit. 25. února 2012].

[73] *Použití nanopovlaků letadlo [130]*

URL: <http://www.kitsune.addr.com/Rifts/Rifts-Earth-Vehicles/F-22_Raptor.jpg> [cit. 25. února 2012].

[74] *50ml Pneumatická pistole [98]*

URL: <<http://www.dispensingsolutions.com/Large%20Pics/50ML-Spare-Parts.jpg>> [cit. 25. února 2012].

[75] *50ml Pneumatická pistole [99]*

URL: <<http://media.digikey.com/photos/3M%20Photos/EPX-50.jpg>> [cit. 25. února 2012].



11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Tabulky hodnocení zaprášenosti povrchu
Příloha B	Kompletní tabulky naměřených hodnot suché vrstvy
Příloha C	Fotodokumentace vzorků s nátěry během korozní zkoušky bez řezu
Příloha D	Fotodokumentace vzorků s nátěry během korozní zkoušky s řezem
Příloha E	Fotodokumentace vzorků s nátěry zrychlené ponorové zkoušky bez řezu
Příloha F	Fotodokumentace vzorků s nátěry zrychlené ponorové zkoušky s řezem



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych vyjádřil své poděkování zaměstnancům VŠB-TU Ostrava. Především však chci poděkovat Ing. Kateřině Suchánkové za poskytnutí podkladů, vedení a technickou pomoc při experimentální části této práce.

Zvláštní poděkování patří vedoucí diplomové práce, paní doc. Ing. Jitce Podjuklové, CSc., za odborné vedení, cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.